

산화막 CMP의 연마율 및 비균일도 특성

Removal Rate and Non-Uniformity Characteristics of Oxide CMP (Chemical Mechanical polishing)

정소영¹⁾, 박성우¹⁾, 박창준¹⁾, 이경진¹⁾, 김기욱¹⁾, 김철복¹⁾, 김상용²⁾, 서용진¹⁾

So-Young Jeong, Sung-Woo Park, Chang-Jun Park, Kyoung-Jin Lee, Ki-Wook Kim, Chul-Bok Kim, Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo

Abstract

As the channel length of device shrinks below $0.13\mu\text{m}$, CMP(chemical mechanical polishing) process got into key process for global planarization in the chip manufacturing process. The removal rate and non-uniformity of the CMP characteristics occupy an important position to CMP process control. Especially, the post-CMP thickness variation depends on the device yield as well as the stability of subsequent process. In this paper, every wafer polished two times for the improvement of oxide CMP process characteristics. Then, we discussed the removal rate and non-uniformity characteristics of post-CMP process. As a result of CMP experiment, we have obtained within-wafer non-uniformity (WIWNU) below 4 [%], and wafer-to-wafer non-uniformity (WTWNU) within 3.5 [%]. It is very good result, because the reliable non-uniformity of CMP process is within 5 [%].

Key Words : CMP (Chemical mechanical polishing), WTWNU(wafer-to-wafer non-uniformity), WIWNU(within wafer non-uniformity), removal rate

1. 서 론

CMP 공정은 반도체 소자가 다층 배선 구조를 가지고 더욱 미세화되며 웨이퍼가 점점 대형화되어감에 따라 광역 평탄화를 위한 절연막 연마, STI 공정[1], 그리고 다층 배선을 사용하기 위한 메탈 공정에서 없어서는 안될 핵심 공정으로 자리 잡고 있다[2]. CMP는 가압된 웨이퍼와 연마 패드 사이에 존재하는 연마제(abrasive)에 의한 기계적인 가공과 슬러리에 의한 화학적 에칭이 동시에 일어나는 공정이다. 그러므로 슬러리의 화학적·기계적인 역할, 패드의 재질 및 기계적 특성, 패드 컨디셔닝, 연마장비의 공정 변수, 연마 후 세정공

정[3], 표면 결함 분석 방법 등이 CMP에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용한다. 따라서, 모든 공정과 장비에 대한 이해와 모든 변수에 대한 조절이 이루어져야 한다. 특히, 이러한 변수들의 최적화된 조합에 의한 평탄화 공정 후의 연마율[4]과 연마균일도는 CMP 공정제어 및 품질에 관련하여 중요한 위치를 차지하고 있다. 연마율은 CMP 공정 전의 두께에서 CMP 공정 후의 두께를 뺀 값을 연마 시간으로 나눈 값이다. 이를 통해 여러 장의 웨이퍼를 연마함으로써, 연마 장비와 공정 조건에 대한 재현성을 평가할 수 있는 척도가 된다. 또한, 비균일도는 웨이퍼 내의 박막 두께의 균일도를 나타내는 기준이며, 웨이퍼 내의 비균일도(WIWNU), 웨이퍼간의 비균일도(WTWNU) 등이 있다. 비균일도는 웨이퍼가 가지고 있는 두께 편차와 패드와의 접촉 상태의 차이에 의해 영향을 받으며, 웨이퍼 두께에 대한 표준편차를 평균으로 나눈 값의 백분율로 계산되어진다. 따라서, 웨이퍼 자체의 두

¹⁾ 대불대학교 전기공학과
(전남 영암군 삼호면 산호리 대불대학교 전기공학과
Fax: 061-469-1265,
E-mail: syj@mail.daebul.ac.kr)

²⁾ 아남반도체 FAB 사업부

계 편차가 보정되지 않은 채 연마가 진행되면 비균일도에 악영향을 미친다. 따라서, 본 논문에서는 POLI-380AF CMP 연마 장비에 대한 연마 후의 연마율 및 웨이퍼내 비균일도를 평가하기 위해 동일 웨이퍼를 1, 2차에 걸쳐 두 번의 연마 테스트를 수행함으로써 연마율 및 비균일도를 조사하였다. 또한, 공정의 재현성을 평가하기 위하여 동일 조건의 공정 변수로 12장의 웨이퍼를 이용하여 연마 후, 최종 웨이퍼간 비균일도 및 연마율을 측정하였다.

2. 실험

2.1 CMP 공정 조건

본 논문에서는 그림 1에 보인 POLI-380AF CMP 장비를 사용하여 약 10,000Å 두께의 열산화막이 증착된 4인치 웨이퍼를 연마하는 실험을 하였다.

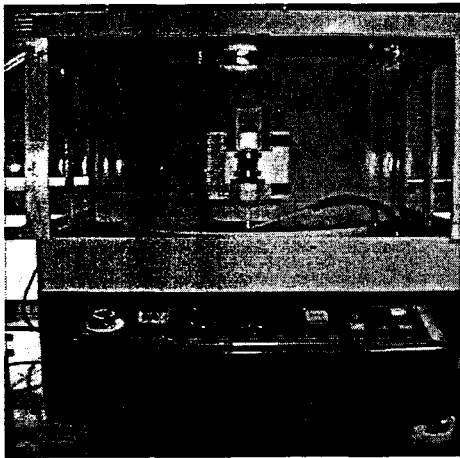


그림 1. POLI-380AF CMP 장비 사진.
Fig. 1. Photograph of POLI-380AF CMP equipment.

연마 패드는 IC 1300(hard pad)과 Suba IV(soft pad)를 PSA II로 접착시킨 16인치 크기의 이중 패드를 사용하였다. 테이블 및 헤드의 회전속도는 각각 30 [rpm]이었고, 3분 동안 연마를 진행하였다. 표 1은 CMP 장비의 공정 조건을 요약한 것이다.

표 1. CMP 장비의 공정 조건.

Table 1. Process conditions of CMP equipment.

Table Speed	30 [rpm]
Head Speed	30 [rpm]
Polishing Pressure	300 [g/cm ²]
Pad Width	16 [inch]
Pad	IC 1300 + Suba IV
Slurry	ILD 1300
Slurry flow rate	80 [ml/min]
Time	3 [min]

CMP 공정의 연마율 및 웨이퍼내 비균일도는 여러 요소들의 변화에 의해서 영향을 받으므로, 연마 공정 시 주의해야 할 사항이 많다. 따라서 본 실험에서는 주공압을 5kg/cm² 이상으로 설정하였고, 연마율을 계산할 때 측정에 따른 변수를 막기 위해 측정위치를 가장자리에서 중앙까지 10포인트를 지정하여 동일한 지점들을 측정하였다. 또한, 패드 컨디셔닝에 의한 영향을 막기 위해 컨디셔닝 압력을 2kg/cm²으로 고정하였고, 패드는 안정된 상태에서 교체 없이 사용하였다.

2.2 CMP 공정 순서

10,000Å 두께의 웨이퍼를 연마하기에 앞서 패드 컨디셔닝 과정을 수행하였다. 컨디셔닝을 한 이후에는 남아있는 패드 찌꺼기를 완전히 제거하기 위하여 DIW를 공급하면서 PVA 브러쉬를 이용하여 패드 표면을 충분히 씻어내고, 더미웨이퍼(dummy wafer)를 이용하여 안정화 작업을 1-2분 동안 수행한 후, 본 실험에 들어가야 돌발적인 웨이퍼 이탈 현상을 방지할 수 있고, 안정된 연마특성을 얻을 수 있다. 또한 슬러리는 aging 현상을 방지하기 위하여 연마 전에 초음파 분산기를 이용하여 충분히 분산시켜 주었다.

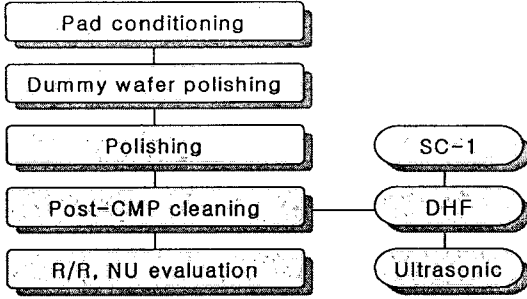


그림 2. CMP 공정 순서도.
Fig. 2. Flow chart of CMP process sequence.

연마용 웨이퍼는 표면 장력으로 연마헤드에 고정시키고, 헤드를 연마장치 본체에 장착한 후, 표 1의 공정 조건에 따라 변수들을 조작한 후, 연마를 진행하였다. CMP 후의 웨이퍼 세정은 $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 2 : 7$ 의 비율로 제조된 SC-1 케미컬에 약 3분간 dipping하고, $\text{HF} : \text{DIW} = 1 : 10$ 의 DHF 용액에 2분간 담근 후, Ultrasonic을 이용하여 4분 동안 초음파 세척을 하고, 웨이퍼 표면을 air gun으로 건조시켰다. 연마 공정이 완료된 후에는 엘립소미터를 사용하여 두께를 측정하여 연마율 및 비균일도를 평가하였다. 그림 2는 본 실험의 CMP 공정 순서를 개략적으로 보인 것이다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 측정 위치에 따른 연마 후 남아있는 산화막의 두께를 나타낸다. 그림에서 측정 위치 10은 웨이퍼의 중앙 부분이고, 1로 갈수록 가장자리 부분을 나타낸다. 불규칙적인 1번과 5번 웨이퍼를 제외하고는 모두 중앙에서 가장자리로 갈수록 산화막의 두께가 선형적으로 감소함을 볼 수 있다. 이는 bull's eye effect에 의한 영향으로 판단된다. bull's eye effect는 연마 후 웨이퍼의 edge 부분이 더 연마되는 현상인데, 이 현상의 원인은 슬러리가 테이블 회전으로 인한 원심력으로 인하여 웨이퍼 바깥쪽 부분에 더 많이 분포하여, 웨이퍼가 바깥쪽부터 연마되기 때문에 발생하는 현상이라고 알려져 있다[5]. 이는 CMP 동안에 연마 제거율의 변동을 유발하며, 안정화된 CMP를 구현하는데 문제점으로 작용한다.

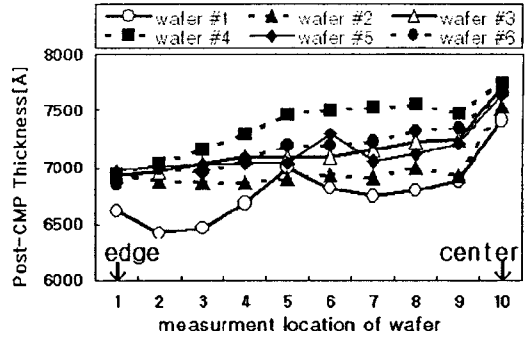


그림 3. 각 웨이퍼의 측정 위치에 따른 연마 후 산화막 두께.(1차 테스트)
Fig. 3. Post-CMP oxide thickness as a function of measurement location of each wafer.(1st test)

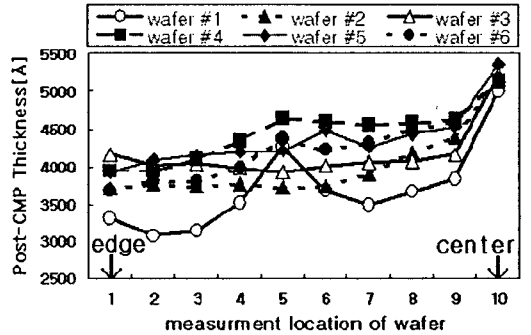


그림 4. 각 웨이퍼의 측정 위치에 따른 연마 후 산화막 두께.(2차 테스트)
Fig. 4. Post-CMP oxide thickness as a function of measurement location of each wafer.(2nd test)

그림 4는 그림 3에서 연마하였던 웨이퍼를 한번 더 연마한 결과이다. 그림 4에서도 그림 3의 실험 결과와 비슷한 양상을 나타내었다. 1번 웨이퍼는 첫 번째 연마 결과에서 균일하게 연마되지 않았기 때문에 두 번째 연마 결과에서도 역시 산화막의 두께 차이가 상당히 크게 나타났다. 대체적으로 첫 번째 연마하였을 때 보다 두 번째의 결과에서 각 웨이퍼내의 산화막의 두께차가 더 큰 양상을 보였다.

그림 5는 각 웨이퍼에 대한 연마율 및 웨이퍼내 비균일도를 나타낸 것이다. 연마율은 단위 분당 연마되는 두께로써 $[\text{Å}/\text{min}]$ 의 단위로 표현된다. 측정 결과, 6장 웨이퍼의 평균적인 연마율은 $952.4 [\text{Å}/\text{min}]$ 이었다. 비균일도는 웨이퍼 전체 두께의 균일함을 평가하는 것인데, 본 실험에서 웨이퍼의 두께가 균일하지 않을 특성을 나타내는 웨이퍼내

비균일도는 평균 3.3 [%]이었으며, 모두 4.2 [%] 이하로 매우 양호한 특성을 나타내었다.

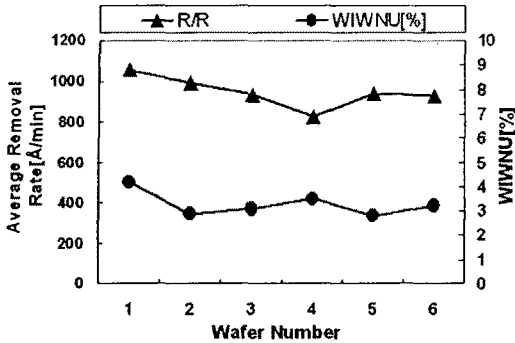


그림. 5. 각 웨이퍼의 연마율과 웨이퍼내 비균일도 (1차 테스트).

Fig. 5. Removal rate and within wafer non-uniformity as a function of each wafer(1st test).

그림 6은 그림 4에서 연마하였던 웨이퍼들의 연마율 및 웨이퍼내 비균일도를 나타낸 그래프이다. 두 번째 연마 결과에서 연마율은 평균 980.2 [Å/min]이었고, 웨이퍼간 비균일도는 10.6 [%]로 첫 번째보다 2배 이상 증가한 값을 나타내었다. 비균일도의 상승은 첫 번째 연마 결과로 인하여 전체적으로 균일하지 못한 상태의 웨이퍼를 가지고 재연마하였기 때문이다. 결론적으로, 처음 10,000 [Å]의 웨이퍼 두께에서 두 번의 연마를 거친 결과 평균 5797 [Å] 정도가 연마되었고, 처음 연마했을 때의 WIWNU는 3.3 [%]이었으며, 이를 한 번 더 연마하였을 경우에는 10.6 [%]의 비균일도를 나타내었다. 이러한 차이는 CMP 전 웨이퍼 내의 두께 편차에 의한 것으로 판단된다.

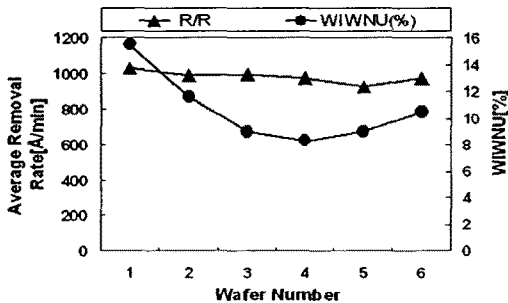


그림. 6. 각 웨이퍼의 연마율과 웨이퍼내 비균일도 (2차 테스트).

Fig. 6. Removal rate and within wafer non-uniformity of each wafer(2nd test).

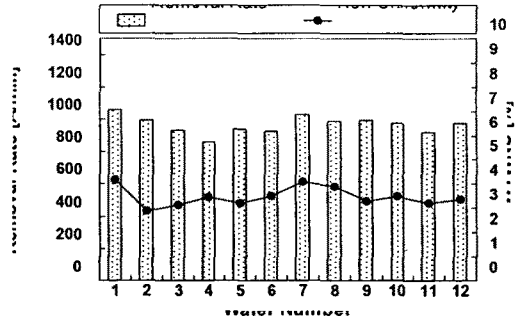


그림. 7. 각 웨이퍼의 연마율과 웨이퍼간 비균일도.
Fig. 7. Removal rate and wafer to wafer non-uniformity as a function of each wafer.

마지막으로, POLI-380AF CMP 장비의 재현성을 확인하기 위하여 이전의 실험과 동일한 공정 조건으로 12장의 웨이퍼를 동시에 연마하였다. 그림 7은 12장의 연마 웨이퍼에 대한 각각의 연마율과 비균일도를 나타낸 것이다. 웨이퍼 12장을 연마하여 본 결과, 연마율은 996.3 [Å/min]이었고, 웨이퍼간 비균일도는 3.5 [%]로 아주 우수하게 제어되었다. 그러나 1번 웨이퍼의 비균일도가 다른 웨이퍼에 비해 약간 높게 나타난 것은 더미 웨이퍼를 통한 연마 전 안정화 작업이 충분치 않아서 발생한 현상이라고 생각된다.

4. 결 론

동일한 공정 변수를 갖는 CMP 연마 공정 시 연마율과 비균일도 특성을 고찰하여 보았다. 10,000 [Å] 두께의 열산화막 웨이퍼 6장을 연마한 결과 연마율은 952.4 [Å/min]이고, 웨이퍼내 비균일도는 평균 3.3 [%]이었다. 한 번의 연마 후 같은 웨이퍼를 이용하여 재연마를 한 결과, 연마율은 평균 980.2 [Å/min]이었고, 웨이퍼내 비균일도는 10.6 [%]로 첫 번째보다 2배 이상 증가한 값을 나타내었다. 이러한 차이는 웨이퍼 내의 두께 편차에 의한 것으로 판단된다. 또한, 재현성 실험에서는 동일한 공정 조건으로 12장의 웨이퍼를 연마 진행한 결과, 연마율은 996.3 [Å/min], 웨이퍼간 비균일도는 3.5 [%]로 나타났다. 공정에서 신뢰할 수 있는 비균일도가 5 [%] 이내임을 볼 때, 이 값은 공정의 허용한도 이내에 존재하므로 재현성이 확보된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2001년 정보통신부에서 지원하는 대
학기초연구지원사업(과제번호 : 2001-185-3)으로
수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

[참고문헌]

- [1] Woo-Sun Lee, Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo, Jong-Kook Lee, " An Optimization of Tungsten Plug Chemical Mechanical Polishing (CMP) using Different Consumables, Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Kluwer Academic Publishers, Vol. 12, No. 1, pp. 63-68, 2001.
- [2] Sang-Yong Kim, So-Young Jeong, Yong-Jin Seo, "Effects of deionized water pressure and purified nitrogen gas on the chemical mechanical polishing proecss", Journal of Material Science ; Material in Electronics, Kluwer Academic Publishers, (Accepted in March. 4. 2002)
- [3] Y. J Seo, W. S Lee, S. Y Kim, J. S Park, E. G. Chang, "Optimization of Post-CMP Cleaning Process for Elimination of CMP Slurry Induced Metallic Contaminations", Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Kluwer Academic Publishers, Vol. 12, No. 7, pp. 411-415, 2001.
- [4] S. Y Kim, Y. J Seo, "Correlation analysis between pattern and non-pattern wafer for characterization of shallow trench isolation -chemical mechanical polishing (STI-CMP) process", Microelectronic Engineering, Elsevier Science, Vol. 60, Issue. 3-4, pp. 357-364, 2002.
- [5] Technical Symposium on CMP 1994, Produced by Semiconductor Equipment and Materials International, Sep. 27, 1994.