

DOE(Design of Experiment)기법을 통한 CMP 공정 변수의 최적화

Optimization of CMP Process parameter using DOE(Design of Experiment) Technique

이경진¹⁾, 박성우¹⁾, 박창준¹⁾, 김기욱¹⁾, 정소영¹⁾, 김철복¹⁾, 최운식¹⁾, 김상용²⁾, 서용진¹⁾
Kyoung-Jin Lee, Sung-Woo Park, Chang-Jun Park, Ki-Wook Kim, So-Young Jeong,
Chul-Bok Kim, Woon-Shik Choi, Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo

Abstract

The rise throughput and the stability in the device fabrication can be obtained by applying chemical mechanical polishing(CMP) process in 0.18 μm semiconductor device. However it does have various problems due to the CMP equipment. Especially, among the CMP components, process variables are very important parameters in determining removal rate and non-uniformity.

In this paper, We studied the DOE(design of experiment) method for the optimized CMP process. Various process variations, such as table and head speed, slurry flow rate and down force, have investigated in the viewpoint of removal rate and non-uniformity. Through the above DOE results, we could set-up the optimal process parameters.

Key Words : CMP (chemical mechanical polishing), DOE (design of experiment), table speed, head speed, down force, slurry flow rate.

1. 서론

최근 반도체 소자가 스케일 다운됨에 따라 한정된 셀 영역내에서 충분한 커패시턴스를 얻기 위해서는 커패시터 구조가 3차원으로 복잡해져서 단차가 더욱 높아지게 되었다[1]. 따라서 후속 공정에서의 심한 단차 문제를 극복하기 위해서 CMP(chemical mechanical polishing) 공정은 핵심 공정 기술이 되었다. 지금까지 CMP 공정은 IMD(inter-metal dielectric)와 ILD(inter-layer dielectric)막의 평탄화[2], STI(shallow trench

isolation)-CMP[3], W, Al, Cu 등과 같은 금속 CMP 공정으로 나뉘어 사용되고 있으며[4], 앞으로 다양한 범위에서의 차세대 소자 제작 및 다양한 물질 등에 광범위하게 응용될 전망이다[5].

CMP 공정에서는 높은 제거속도를 가지면서 안정된 균일도를 얻기 위하여 슬러리(화학적인 작용)와 패드(기계적인 작용)의 선택뿐만 아니라 캐리어 압과 연마 테이블의 속도 및 온도, 연마하는 동안의 압력 그리고, 패드 콘디셔닝하는 방법 등과 같이 CMP 공정에 영향을 미치는 다양한 공정변수들을 고려해야 한다.

따라서 본 논문에서는 최적화된 공정 요소를 찾아 전체적인 연마 제거율의 향상과 비균일도의 개선을 위해 DOE(design of experiment) 기법을 적용하여, CMP 공정 변수(테이블 속도, 헤드 속도, 연마 압력, 슬러리 유속)들이 연마 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

¹⁾ : 대불대학교 전기공학과
(전남 영암군 삼호면 산호리 72번지
Fax : 061-469-1265,
E-mail : syj@mail.daebul.ac.kr)

²⁾ : 아남반도체, FAB 사업부

2. 실험

2.1 DOE(design of experiment) 기법

그림 1은 CMP 공정 기술과 CMP 공정에 영향을 주는 주요한 요인들을 연관지어 나타낸 개략도로써, 크게 4가지 영역으로 나눌 수 있는데, CMP 장비, CMP 소모자재, post-CMP 세정 공정, CMP metrology 등으로 나눌 수 있다. 특히, CMP 시장에서의 수익성을 생각한다면 슬러리, 패드와 같은 소모자재에 집중하여야 하고, CMP 공정상의 생산성(throughput) 및 수율(yield) 향상, 소자의 특성 개선을 위해서는 post-CMP 세정 공정과 CMP metrology에 신경 써야 할 것이다. 그러나, 이 4가지 영역을 모두 만족시킬 수는 없지만, CMP 공정의 최적화에 비교적 신뢰성 있게 접근할 수 있는 방법은 여러 변수들의 상호 의존성과 같은 기초 연구를 토대로 실험을 설계하는 방법인 DOE(design of experiment) 기법을 통해서 가능하다.

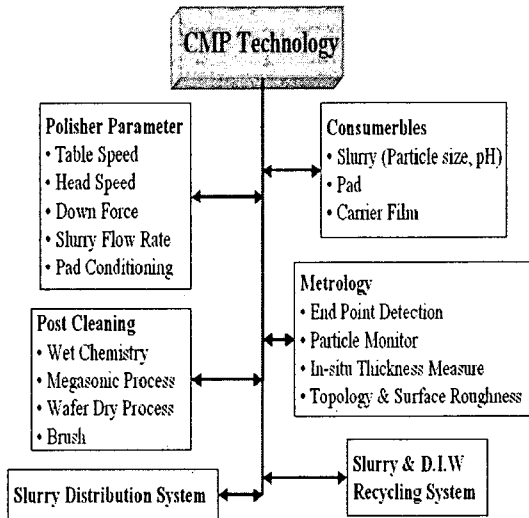


그림 1. CMP 공정 기술과 공정에 영향을 미치는 주요한 요인들

Fig 1. CMP Technology and it's key factors.

CMP 공정을 통해 얻어야 할 특성은 높은 연마율(removal rate), 낮은 비균일도(non-uniformity), 연마후의 낮은 표면 결함, 두 가지 종류의 막에 대

한 연마 선택비(selectivity) 개선 등 다양하지만, 본 실험에서는, 가장 궁극적인 목적인 평탄화 측면에서 연마율과 비균일도를 DOE의 목표 값으로 설정하고 각각의 공정 변수를 변화시켜가면서 수 차례의 반복적인 기초 공정 실험을 통해 산화막 CMP 공정을 최적화할 수 있는 조건을 찾고자 한다.

2.2 실험방법

CMP 연마 장치는 그림 2의 G&P Technology사의 POLI380을 사용하였다. 연마 패드는 Rodel사의 IC 1300과 Suba IV를 접착시킨 이중 연마 패드를 사용하였고, 헤드는 4인치 웨이퍼를 장착할 수 있는 구조로써, main 공압은 5 kg/cm^2 이상으로 유지하였다. 또한, 맥동식 펌프가 장착되어 있는 슬러리 공급장치를 사용하였고, 실리카 계열의 슬러리를 사용하였다. 웨이퍼는 $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 전기로에서 6시간 동안 산화막을 증착시킨 4인치 블랭킷(blanket) 웨이퍼를 사용하였다. 표 1은 DOE 기법에 의해 연마특성을 고찰하기 위한 공정 조건의 범위를 나타내었다.

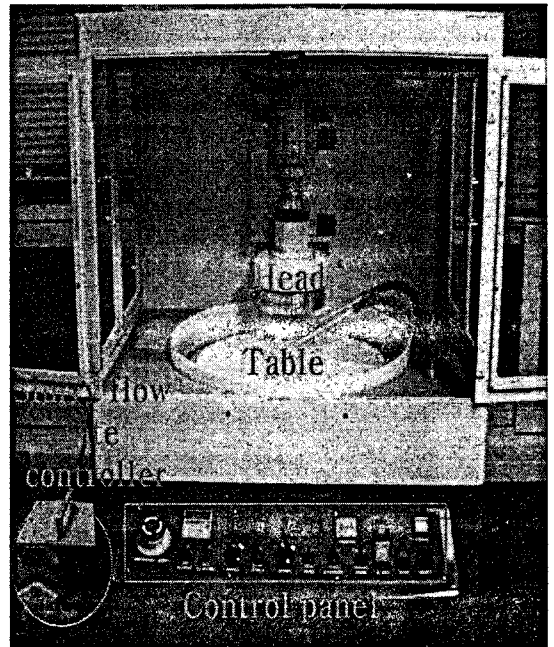


그림 2. G&P Technology사의 POLI380 CMP 장치
Fig. 2. POLI380 CMP equipment of G&P Technology company.

표 1. DOE를 위한 CMP 장비의 공정 파라미터 범위

Table 1. Parameter range of CMP equipment for DOE technique.

공정 변수	파라미터 범위
테이블 속도	10 ~ 40 [rpm]
헤드 속도	10 ~ 100 [rpm]
연마 압력	4 ~ 10 [psi]
슬러리 유속	30 ~ 150 [ml/min]

3. 결과 및 고찰

CMP 공정에서는 수많은 변수들이 작용하는데, 그 중에서도 CMP 장비 자체에서 조절 가능한 변수들은 다음과 같다. 여기서 소개될 변수들은 DOE 기법에 필수로 적용되어야 하는 매우 중요한 요소들이다.

3.1 테이블 속도(table speed)

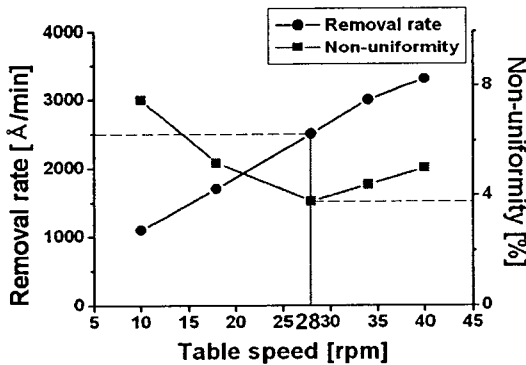


그림 3. 테이블 속도에 따른 연마율과 비균일도 관계
Fig. 3. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of table speed.

그림 3은 테이블 속도에 따른 연마율과 비균일도를 나타낸 것으로, 테이블 속도는 10 ~ 40 rpm의 범위 내에서 변화를 주며 실험하였다. 속도가 증가함에 따라 연마율은 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 비균일도는 점점 감소하다가 28 rpm을 기점으로 약간 증가하였다. 비균일도가

3.8 %로 가장 낮은 값을 나타내었던 28 rpm에서의 연마율은 2500 Å이었다. 결과적으로 테이블 속도가 28 rpm일 때 연마율과 비균일도 조건을 모두 만족시킬수 있는 가장 안정된 공정으로 진행됨을 알 수 있었다.

3.2 헤드 속도(head speed)

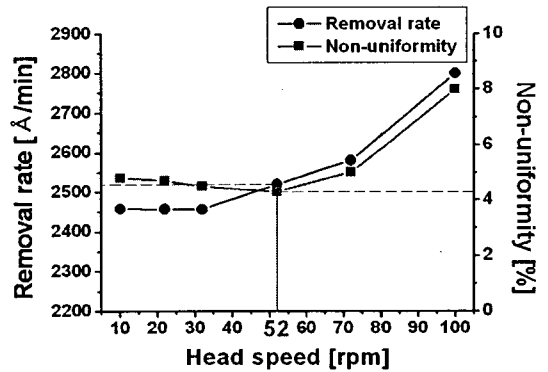


그림 4. 헤드 속도에 따른 연마율과 비균일도 관계
Fig. 4. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of head speed.

그림 4는 헤드의 속도에 따른 연마율과 비균일도의 관계를 나타낸 것으로, 헤드 속도는 10 ~ 100 rpm의 범위 내에서 변화를 주며 실험하였다. 속도가 증가함에 따라 연마율과 비균일도 모두 비선형 증가하는 경향을 나타내었으며, 연마율과 비균일도 모두 52 rpm을 기점으로 더욱 증가하였다. 비균일도가 4.3%로 가장 낮은 값을 나타내었던 52 rpm에서의 연마율은 2520 Å이었다. 결과적으로 헤드 속도가 52 rpm일 때 높은 연마율과 낮은 비균일도 측면에서 가장 적합한 공정으로 진행되었다.

3.3 연마 압력(down force)

그림 5는 연마 압력의 변화에 따른 연마율과 비균일도의 관계를 나타낸 것으로, 연마 압력은 4 ~ 10 psi의 범위 내에서 변화를 주며 실험하였다. 연마 압력이 증가함에 따라 연마율은 선형 증가하는 경향을 나타내었으며, 비균일도가 4.4 %로 가장 낮은 값을 나타내었던 8.5 psi에서의 연마율은 2800 Å이었다. 연마 압력이 8.5 psi일 때 가장 낮은 비

균일도와 높은 연마율을 얻을 수 있었다.

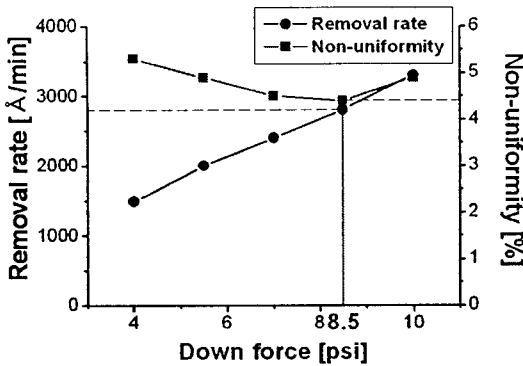


그림 5. 연마압력에 따른 연마율과 비균일도 관계
Fig. 5. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of down force.

3.4 슬러리 유속(slurry flow rate)

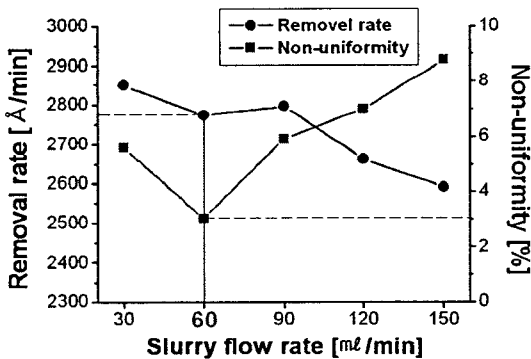


그림 6. 슬러리 유속에 따른 연마율과 비균일도 관계
Fig. 6. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of slurry flow rate.

그림 6은 슬러리 유속에 따른 연마율과 비균일도 관계를 나타낸 것으로, 슬러리 유속은 30 ~ 150 ml/min의 범위 내에서 변화를 주며 실험하였다. 슬러리 유속이 감소함에 따라 연마율은 증가하는 경향을 나타내었으며, 비균일도는 감소하다가 60 ml/min을 기점으로 증가하였다. 비균일도가 3%로 가장 낮은 값을 나타내었던 60 ml/min에서 연마율은 2773 Å이었다. 결과적으로 슬러리 유속이 60 ml/min일 때 가장 안정된 공정으로 진행됨

을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서 DOE 기법에 의해 결정된 최적의 파라미터는 웨이퍼의 연마율과 비균일도를 결정하는데 매우 효과적임을 알 수 있었다. DOE 기법을 통한 CMP 공정의 최적화에 대한 기반 연구는 앞으로 새로운 소재나 구조에 대응하기 위해서는 물론, CMP 공정 능력의 향상, 시행착오로 인한 비용과 시간을 절약할 수 있어 CMP 공정의 신뢰성 및 재현성을 확보하는데 지대한 공헌을 할 것이며 특히, 시뮬레이션을 위한 데이터 테이블로 제공될 수 있어 그 의미가 매우 크다고 하겠다.

감사의 글

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

[참고문헌]

- [1] Modak, P. Monteith, and N. Parekh, "Components of within-wafer non-uniformity in a dielectric CMP process," CMP-MIC proceeding, pp. 169-172, 1997.
- [2] So-Young Jeong, Yong-Jin Seo, Sang-Yong Kim, "Effect of system facility factors for hot spot reduction of inter-level dielectric (ILD) CMP process", ISEIM-2001, pp. 95-98, 2001.
- [3] Sang-Yong-Kim, Yong-Jin 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.
- [4] 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.

- [5] T. Izumitani, "In Treatise on Materials Science and Technology," edit by M. Tomozawa and R. Doremus, Academic Press, New York, p.115, 1979.