

DOE 방법을 이용한 Cu CMP 공정 변수의 최적화

최민호, 김남훈*, 김상용**, 장의구

중앙대학교 전자전기공학부, 조선대학교 에너지자원신기술연구소*, 동부아남반도체 SEE팀**

Optimization of Cu CMP Process Parameter using DOE Method

Min-Ho Choi, Nam-Hoon Kim*, Sang-Yong Kim** and Eui-Goo Chang

Chung-Ang Univ., Chosun Univ., DongbuAnam Semiconductor**

Abstract

Chemical mechanical polishing (CMP) has been widely accepted for the global planarization of multi-layer structures in semiconductor manufacturing. However, it still has various problems to the CMP equipment, in particular, among the CMP components, process variables are very important parameters in determining the removal rate and non-uniformity. Using a design of experiment (DOE) approach, this study was performed investigating the interaction between the various parameters such as turntable and head speed, down force and back pressure during CMP. Using statistical analysis techniques, a better understanding of the interaction behavior between the various parameters and the effect on removal rate, non-uniformity and ETC (edge to center) is achieved.

Key Words : CMP (chemical mechanical polishing), DOE (design of experiment), turntable and head speed, back pressure, removal rate, non-uniformity

1. 서 론

반도체 소자의 고속화 집적화에 의해 다층 배선, 저온 절연막 형성, 3차원 및 고유전체의 커패시터 등의 복합화 기술이 적용 및 요구되고 있다. 이에 따라 단차가 급격히 높아지게 되어서, 포토공정 및 식각공정 등 후속 공정에서의 어려움이 증가하게 되었다[1]. 이에 대한 대안으로 CMP 기술에 대한 연구가 활발하며, 반드시 필요한 핵심 공정 기술로 부각되었다. 반도체 공정의 CMP 공정은 IMD (inter-metal dielectric)와 ILD (inter-layer dielectric)막의 평탄화[2], STI (shallow trench isolation)-CMP, 그리고 W, Al, Cu등과 같은 금속 CMP 공정으로 나뉘어 사용되고 있다[3]. 차세대 소자에서는 다층 배선의 다마센 공정 등과 같이 두 가지 이상의 물질로 이루어진 층이 동시에 드

러나도록 평탄화 하여 특별한 구조로 제작할 수 있는 공정도 요구되고 있다. CMP 공정은 화학적인 작용과 기계적인 작용에 의해서 연마하고자 하는 물체의 표면을 제거하는 작업이다. CMP 공정에서 제어해야 될 변수들은 각 공정과 장치들의 조합에 따라서 여러 가지로 분류될 수가 있다. 따라서 이러한 변수가 각각 적절하게 고려되어 조합된 상태에서 최적의 CMP 공정 설계가 가능하게 된다. 그러나 이러한 모든 변수에 대한 실험을 행함으로써 변수를 제어하여 최적의 조건을 구한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 그럼에도 불구하고 더 나은 공정을 위해서는 변수들에 대한 올바른 이해가 필요하다고 생각되었기 때문에 본 논문에서는 CMP 공정에서 실험 장비의 공정 변수를 실험계획법을 통해서 결정함으로써 최적의 조건을 도출하여 메커니즘을 이해하고자 한다[4]. 이를 위하여 실험 계획법을 사용하여 분산분석을 행하여

공정변수를 결정하였다. 그에 전체적인 제거율과 균일도의 개선을 위해 실험 설계법을 적용하여 변수들의 영향을 고찰하여 CMP 공정 장비의 변수를 최적화하고자 한다.

표 1. DOE를 위한 CMP 공정 변수.

Order	Down Force	Back Pressure	Head speed	TurnTable speed
3	300	138	50	100
1	300	98	50	75
6	392	98	75	75
2	392	98	50	100
8	392	138	75	100
4	392	138	50	75
7	300	138	75	75
5	300	98	75	100

2. 실험

2.1 실험계획법

CMP 공정 기술과 CMP 공정에 영향을 주는 요인들은 크게 4개의 영역으로 나눌 수 있는데, CMP 장비 요소, CMP 소모자재 요소, post-CMP cleaning 요소, 그리고, CMP metrology 등으로 나눌 수 있다. 가장 바람직한 CMP 공정은 이상의 4개의 영역이 모두 고려되어 최적화된 경우일 것이다. 높은 연마율, 낮은 비균일도, 연마 후의 평면 결함의 감소, 선택비 개선 등으로 다양한 특성을 CMP 공정을 통하여 얻을 수 있다. 그러나, 가장 궁극적인 목적인 평탄화 측면에서 연마율과 균일도를 실험설계법의 목표로 설정하고 각각의 공정 변수에 따라 최적화된 CMP 공정의 조건을 도출해 보았다. 연마율과 비균일도에 영향을 미치는 것으로 알려진 주요 공정변수를 선정하여 실험계획법 중 L8형 직교 배열표 (Tables of Orthogonal Arrays)를 사용하여 4요인 2수준으로 배치하였으며, 이에 대한 내용은 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험 방법

본 논문에서 연마 제거율은 CMP 공정 전의 두께에서 CMP 공정 후의 두께를 뺀 값을 총 연마시간으로 나눈 값으로 정의하였으며, 또한 비균일도는 웨이퍼내의 박막 두께의 균일도를 나타내는 기준

인 웨이퍼내의 비균일도(Within Wafer Non Uniformity ; WIWNU%)를 나타내며, 웨이퍼의 두께 편차와 패드와의 접촉 상태의 차이에 의해 영향을 받으며, 웨이퍼 두께에 대한 표준 편차를 평균으로 나눈 값의 백분율로 정의하여 계산하였다. ETC (edge to center)는 웨이퍼의 상대적인 원운동에 의해 중심과 가장 자리의 상대적인 속도 차이가 생기기 때문에, 웨이퍼 위치에 따른 연마율의 차이값을 나타낸 것이다. ETC값은 웨이퍼 중심의 9 포인트 값에 가장 자리 10 포인트 값을 뺀 값으로 나타내었다. 두께 측정을 위한 장비는 Nano Metrics M8000X와 Rudolph Ellipsometer FE VII system을 사용하였다. 모든 시료의 polishing은 G&P POLI-380 CMP polisher를 사용하여 수행되었으며, 이 실험에 사용된 CMP 공정 시스템은 주로 CMP polisher, main control panel, carrier head 그리고, 패드 테이블 부분으로 나뉜다.

표 2. DOE를 위한 실험 결과.

Order	Removal Rate	No-Uniformity	ETC
3	12869	11.8	1418
1	9453	10.3	294
6	9108	16.6	2122
2	11288	18.4	2820
8	10992	17.6	2402
4	9239	16.2	1961
7	8185	13.8	1638
5	9539	11.8	1394

3. 결과 및 고찰

CMP 공정에서 제어해야 될 변수들은 각 공정과 장치들의 조합에 따라서 여러 가지로 분류될 수가 있다. 따라서, 이러한 변수가 각각 적절하게 고려되어 조합된 상태에서 최적의 CMP 공정 설계가 가능하게 된다. 일반적으로 기계적 연마에서는 웨이퍼 패드간의 상대 속도 및 가공 압력이 균일하게 부여되고 또한 균일하게 슬러리가 공급되면 웨이퍼 전면은 균등하게 연마된다. CMP 공정 메커니즘을 설명하는데 자주 인용되는 Preston 방정식 [5]에 의하면, 연마율은 패드의 상대속도 (Turn Table speed와 Head speed 비)와 패드의 압력

(Down Force와 Back Pressure)에 비례하는 것을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 CMP 장비는 테이블과 헤드가 모두 회전하는 rotary 방식이므로, 두 회전체 사이의 상대적인 속도가 연마율을 좌우한다. 즉, rotary 방식은 상대적인 원운동으로 인해 웨이퍼의 중심과 가장자리 사이에 상대속도의 차이가 발생한다. 본 실험에서는 이러한 웨이퍼의 중심과 가장자리 사이의 상대속도의 차에 의한 웨이퍼의 위치에 따른 연마율의 차이와 연마율과 균일도에 대해서 분석해 보았다. 그리고, 여러 가지 분석을 통하여 얻은 공정 변수의 영향을 가장 적합하다고 생각되는 수준을 찾아내었다. 표 1의 실험 계획법으로 실험 한 후, 그 결과 수치를 가지고, 각 공정 변수들 간의 교호작용에 대해서 알아 보았다. 실험 결과는 표 2에 나타내었다. 그림 1은 4개의 공정변수에 대한 ETC (edge to center : center 9 point avg-edge 10 points avg) 대한 각 공정 변수들의 교호작용 도표를 나타낸 것이다. 그래프를 보면, 전반적으로 각 공정 변수들이 증가되었을 때, ETC도 증가하는 경향을 보인다. CMP 장비가 rotary 방식이므로, 웨이퍼의 중심과 가장자리 사이의 상대 속도가 다르기에, 다른 상대 속도에 연마율의 차이가 나타나는 것으로 사료된다. 그림 1을 보면, 연마압력은 다른 공정 변수들에 대한 교호작용에 의한 ETC의 값이 연마압력이 300 psi 일 때 보다 392 psi 일 때 전반적으로 ETC가 높게 형성되었다. 또, 테이블속도와 헤드 속도의 증가하면, 상대적으로 ETC는 증가한다. 그러나, 헤드 속도가 75 rpm 일 때, 테이블 속도의 변화에도 ETC는 거의 차이가 없다. 그림 2는 비균일도에 대한 그래프이다. 비균일도 도도 연마압력이 높을수록 증가하였다. ETC 그래프를 보면, ETC와 비균일도는 다른 공정 변수들의 교호 작용에서 연마 압력의 증가하면, 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 전반적으로 연마압력이 클수록, 비균일도가 증가하여 웨이퍼의 균일도가 저하됨을 알 수 있다. 앞의 그림들과 비교, 분석해 보면, 연마압력이 증가함에 따라 연마율, 비균일도와 ETC는 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 연마압력이 높을수록 회전하는 웨이퍼면의 변형과 진동이 최소화되어 연마율이 증가되었다고 사료된다. 그러나, ETC와 비균일도의 증가는 웨이퍼의 균일도가 저하된 것으로 생각된다. 테이블 속도는 웨이퍼를

가로지르는 슬러리의 이동에 영향을 주므로 반응물과 생산물을 이동시켜 연마율의 향상에 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 헤드 속도와 테이블 속도는 웨이퍼의 중심과 가장자리의 상대속도에 영향을 주므로, ETC와 비균일도 저하에 적합한 조건을 검출해 보았다.

연마율, ETC와 비균일도를 고려하여 최적의 파라미터를 도출해 본 결과를 표 3에 나타내었다. DOE기법으로부터 얻은 최적조건을 기준을 조건과 Cu, Ta, 비균일도를 체크해본 결과 그림 4처럼 전반적인 연마율과 비균일도에서 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 선택비 면에서도 향상되는 것을 알게 되었다.

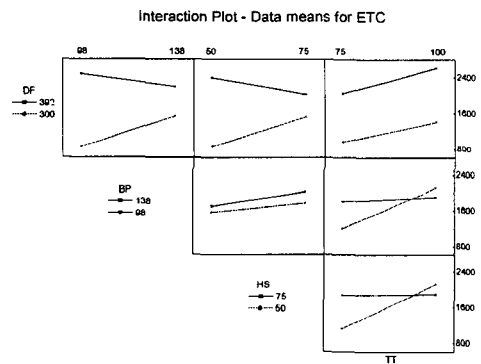


그림 1. 공정 변수들 사이의 ETC의 교호작용 도표.

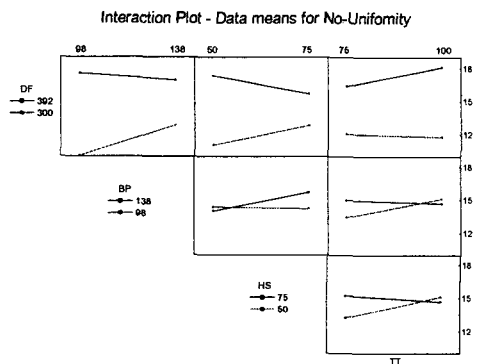


그림 2. 공정 변수들 사이의 비균일도의 교호작용 도표.

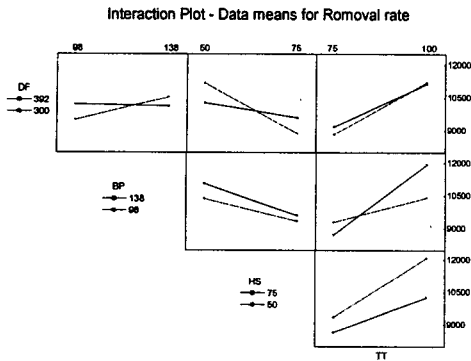


그림 3. 공정 변수들 사이의 연마 제거율의 교호 작용 도표.

표 3. DOE 기법으로 얻은 최적 변수.

Process Parameter	
연마압력 (Down Force)	300 (psi)
배압 (Back Pressure)	98 (psi)
테이블속도 (TurnTable speed)	100 (rpm)
헤드 속도 (Head speed)	50 (rpm)

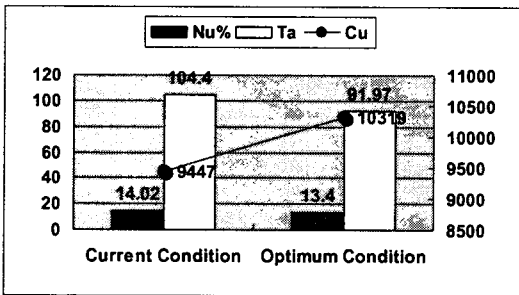


그림 4. 최적화된 공정 변수에 대한 연마율, 비균일도 및 선택비 특성.

4. 결론

CMP 공정 변수들은 연마율, ETC, 비균일도 등에 영향을 끼친다. 본 논문에서는 높은 연마율과 낮은 비균일도 등을 얻기 위해 논문에서 제안한 DOE 기법을 통하여 여러 공정 변수들을 고려하여

교호작용을 분석하여 다음의 결론을 유도하였다.

1. CMP 공정 변수들의 변화는 연마 제거율, 웨이퍼내의 비균일도, ETC에 상당한 영향을 주는 것을 알 수 있었다.
2. 연마압력 (Down Force)은 300 psi 일 때, 낮은 비균일도와 ETC를 얻을 수 있었다.
4. 테이블 속도는 100 rpm 일 때, 상대적으로 높은 균일도와 ETC를 보이지만, 높은 연마 제거율을 나타낸다. 이 점에서 공정 변수의 변화에 대한 최적화를 얻을 수 있었다.
5. 헤드 속도가 50 rpm 지점에서 비교적 안정적인 비균일도와 ETC를 나타내는 것으로 미루어, 이 점에서 최적 값을 얻을 수 있었다.
6. 본 논문에서의 DOE 기법을 이용하여 결정된 최적의 변수는 연마율, 비균일도 및 선택비를 향상시키는 데 효과적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00375-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] The National Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association, 1997.
- [2] S. H. Bath, R. Legegett, A. Maury, K. Monning, R. Tolles, Planarizing interlevel dielectrics by chemical mechanical polishing, Solid State Technol. p. 87, 1992
- [3] S. R. Wilson, C. J. Tracy, and J. L. Freeman, "In Multilevel Metallization for Integrated Circuits", edit by S. R. Wilson, C. J. Tracy, and J. L. Freeman, Noyes Publications, Pa가 Ridge, NJ, 1993
- [4] K. J. Lee, S. Y. Kim, and Y. J. Seo, "Optimization of CMP Process Parameter using Semi-empirical DOE (Design of Experiment) Technique", J of KIEEME (in Korean), Vol.15, No. 11, p.939, 2002.
- [5] J. M. Strigerwald, S. P. Murarka, R. J. Gutmann, Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials, Wiley, New York, p. 49, 1997.