

패턴 밀도를 고려한 Chemical Mechanical Polishing에 관한 연구

이 재 경, 문 원 하, 황 호 정
증양대학교 전자전기공학부
전화 : 02-820-5296 / 팩스 : 02-812-5318

A Study on Chemical Mechanical Polishing using Pattern Density based Modeling

Jae-Kyung Lee, Won-Ha Moon, Ho-Jung Hwang
Dept. of Electrical And Electronic Engineering, Chung-Ang University
E-mail : jklee@semilab3.ee.cau.ac.kr

Abstract

Recently, simulation of Chemical Mechanical Polishing is becoming more important because process parameters on the material removal rate are complicated. And pattern-dependent effects are a key concern in CMP processes. In this paper, we have been studied the changes of pattern density vs. oxide thickness with Stine's simulation model. We also have estimated the effective density using optimal window size with density mask, and have made a study of the change of oxide thickness as a function of polishing time.

I. 서론

최근 반도체 소자의 고속화 및 고집적화에 따라 다층 배선구조에 있어서 배선 층수의 증가와 배선 패턴의 미세화에 대한 요구가 갈수록 높아져 다층 배선 기술의 서브 마이크로 공정 해석 및 모델링은 중요한 과제이다. 0.1 마이크로미터 이하의 공정 기술 시대에 들어서면서 미세 패턴 형성을 실현하기 위한 노광장치의 초점 심도에 대한 공정여유가 줄어들어 따라 충분한 초점 심도를 확보하기 위하여 칩 영역에 걸친 광역 평

탄화 기술이 요구된다. 이와 같은 광역 평탄화를 실현하기 위해 현재 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정 기술이 반도체 소자 제조 공정에 필수적으로 적용되고 있다.

본 논문은 Stine의 CMP 시뮬레이션 모델을 사용하여 패턴 밀도에 따라 갈리는 산화막 두께의 높이 변화를 분석하였다. 밀도 마스크를 가지고 최적의 유효 밀도를 계산하여 시간에 따라 갈리는 높이의 변화를 연구하였다. 또한 실험 데이터와 비교함으로써 그 정확도를 살펴보았다.

II. CMP 시뮬레이션 모델

2.1 CMP 시뮬레이션 기본 모델

CMP 시뮬레이션 모델은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 Stine이 제안한 기본 모델을 가지고 연구하였다. 기본 모델은 그림 1에 나타나 있다. Preston의 모델에서는 산화막 두께가 갈리는 속도가 가공 압력과 가공 상대 속도에 비례한다는 것이고, Stine이 제안한 모델은 유효 패턴 밀도라는 개념을 도입한 것이다. 본 논문은 Stine의 모델을 가지고 시뮬레이션을 하였다.

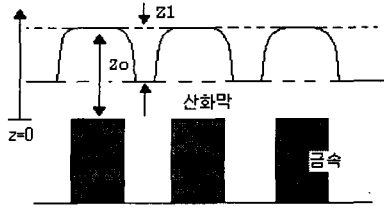


그림 1. 기본 모델에서의 용어 정의[1,2,6]

(1) Preston의 모델

이 모델은 식(1)에서와 같이 산화막 두께가 갈리는 속도는 가공압력과 가공 상대 속도에 비례한다는 것을 나타낸다[1,2].

$$\frac{dz}{dt} = - k_p PV \quad (1)$$

- k_p : Preston 상수
- P : 가공 국부 압력
- V : 가공 상대 속도

(2) Stine의 모델

유효 밀도라는 개념을 도입하여 Preston 모델을 수정하였다. 식(2)는 최종 산화막 두께를 상하 두 영역에서의 밀도를 나타낸 것이다[1,2,6].

$$\rho(x, y, z) = \begin{cases} \rho_0(x, y), & z > z_0 - z_1 \\ 1, & z < z_0 - z_1 \end{cases} \quad (2)$$

식(3)은 시간에 대하여 상하 두 영역에 관한 경계 높이를 표현한 것이다[1,2,3,4,6].

$$z = \begin{cases} z_0 - \left(\frac{Kt}{\rho_0(x, y)} \right) & Kt < \rho_0 z_1 \\ z_0 - z_1 - Kt + \rho_0(x, y) z_1, & Kt > \rho_0 z_1 \end{cases} \quad (3)$$

- z = 최종 산화막 두께
- P = 국부 압력
- V = 상대 속도
- K = 산화층 연마율
- t = CMP 시간
- ρ_0 = 국부 패턴 밀도

2.2 국부 밀도와 유효 밀도와 관계

국부 패턴 밀도는 전체 면적에 대한 패턴이 된 면적으로 정의한다. 식(4)에서와 같이 국부 밀도 값과 최적의 창과 컨벌루션을 하게 되면 최적의 유효 밀도를 구할 수 있다[1,5,6].

$$d(x, y) = l(x, y) \otimes w(x, y) \quad (4)$$

- $d(x, y)$: 유효 밀도
- $l(x, y)$: 레이아웃(국부 밀도)
- $w(x, y)$: 창 함수

III. CMP 시뮬레이션 구현

3.1 국부 패턴 밀도

그림 2는 가로 세로 20mm 크기를 갖는 밀도 마스크 크이고 구간을 5×5 잡고 25개의 구간에 대한 각각의 밀도를 계산하였다.

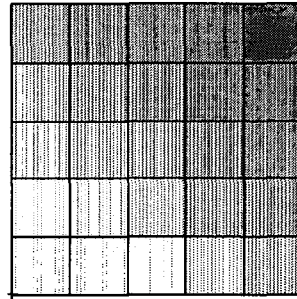


그림 2. 밀도 마스크 [1]

밀도 마스크의 CIF 파일 데이터로부터 국부 패턴 밀도를 구할 수 있다.

표 1은 그림 2의 밀도 마스크로부터 25개의 영역에 대한 국부 밀도를 계산한 값이다. 좌측 하단의 데이터 값이 제일 작고 우측 상단으로 갈수록 점점 증가하는 밀도 값을 갖는다.

표 1. 그림 2의 밀도 마스크에 대한 국부 밀도

	1	2	3	4	5
1	0.6	0.76	0.8925	0.96	1
2	0.4	0.56	0.72	0.84	0.92
3	0.24	0.36	0.52	0.68	0.8125
4	0.12	0.2	0.32	0.48	0.64
5	0.041948	0.08	0.1725	0.28	0.44

그림 3은 표 2의 값을 x축, y축에 대하여 각 좌표에서의 국부 패턴 밀도 값을 나타낸 그래프이다.

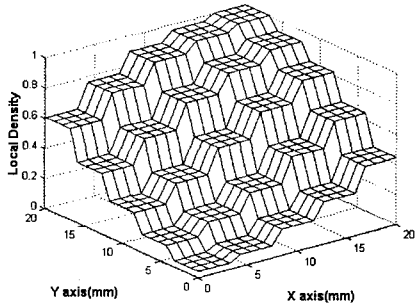


그림 3. x축, y축의 각 좌표에서의 국부 밀도

3.2 유효 밀도

그림 4는 위의 국부 패턴 밀도 값을 3mm 정사각형의 창으로 컨벌루션을 하여 얻은 유효 밀도 값이다.

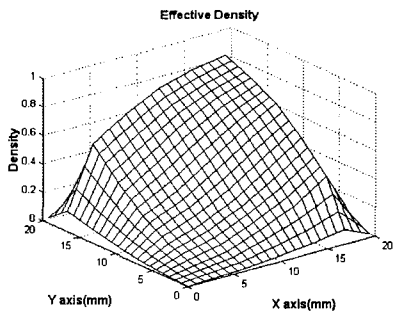


그림 4. x축, y축의 각 좌표에서의 유효 밀도

그림 5는 유효 밀도 데이터를 가지고 Stine 식에 넣어서 얻은 CMP 90초, 150초, 210초 때의 시뮬레이션 결과이다.

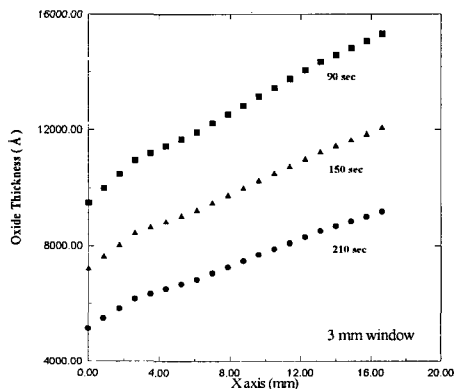


그림 5. 시간에 따른 산화막 두께의 변화

3.3 창 크기와 유효 밀도와의 관계

평탄화 길이는 컨벌루션하는 과정 중에 창 크기와 밀접한 관계가 있다. 최적의 창 크기를 선택하여 최적의 유효 밀도를 구하여야 한다. 최적의 창 크기를 구하는 방법에는 여러 가지가 있는데 그 중에 RMS Error 데이터를 가지고 창 크기를 선택하는 방법을 사용하였다. RMS Error 값이 적을수록 좋은 시뮬레이션 결과 값을 갖는다[1].

그림 6과 그림 7은 3mm 창 크기와 2mm 창 크기에 대한 산화막 두께에서의 RMS Error를 구했는데, 2mm 창 크기 보다는 3mm 창 크기에서의 RMS Error가 작게 나왔다.

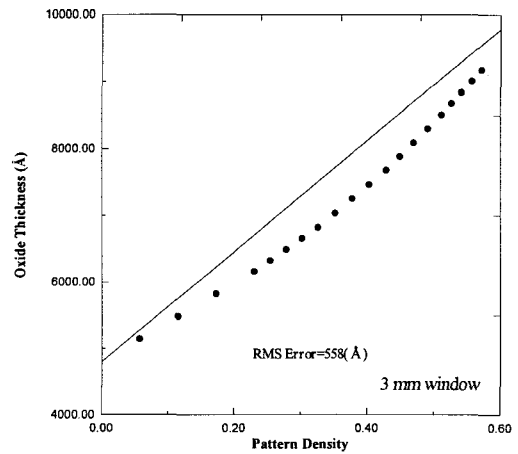


그림 6. 3mm 창 크기로 사용한 CMP 210초에서의 산화막 두께

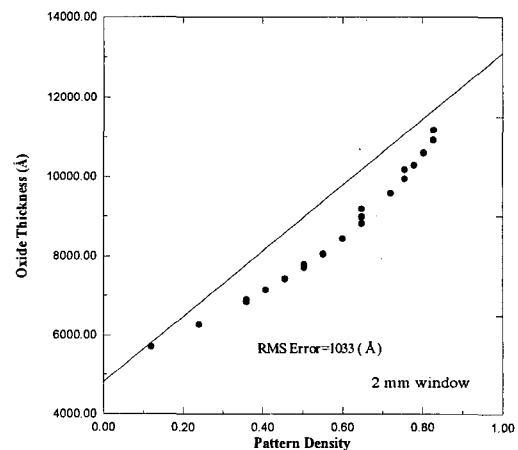


그림 7. 2mm 창 크기로 사용한 CMP 210초에서의 산화막 두께

IV. 시뮬레이션 결과와 실험 결과 비교

참고 문헌

시뮬레이션 결과와 비교한 실험의 조건은 다음과 같다. PECVD TEOS로 증착한 뒤에 금속을 증착시키고 그림 2의 밀도 마스크를 이용하여 패턴을 형성시킨 다음, PECVD TEOS로 다시 2 μ m 증착시켰다. CMP 하기 전에 계단 높이가 7500Å이고 정반 속도는 28rpm, 웨이퍼 캐리어 속도는 32rpm이다. 패드는 IC1400K-groove, 슬러리는 SS-12를 사용하였다[1].

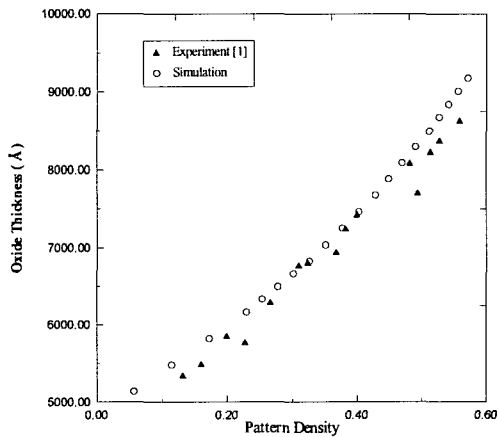


그림 8. CMP 210초 후에 실험 값과의 비교

- [1] D. Ouma, Modeling of chemical mechanical polishing for dielectric planarization, Ph.D. Thesis, MIT, Nov. 1998.
- [2] B. Stine, D. Ouma, R. Divecha, D. Boning, J. Chung, A closed-form analytic model for ILD thickness variation in CMP processes, CMP-MIC, Santa Clara, CA, Feb. 1997.
- [3] W. Leipold, et al., VLSI Multilevel Interconnect Conference, pp.473-475, 1995.
- [4] B. Stine, et al., Submitted to IEEE Trans. on Semi. Manuf., Oct. 1996.
- [5] A. Maury, D. Ouma, D. Boning, J. Chung, "A modification to Preston's equation and impact on pattern density effect modeling," Conf. for Advanced metallization and interconnect systems for ULSI applications, San Diego, CA, October 1997.
- [6] Radhika Dutt, Modeling of chemical mechanical polishing using fixed abrasive technology, Master Thesis, MIT, Oct. 2000.

V. 결론

CMP에 영향을 미치는 중요한 변수로는 슬러리의 화학적, 기계적 역할과 패드, 패드 컨디션닝, 연마 장비의 공정 변수 등이 있는데, 이번 논문은 그 가운데 마스크 패턴 밀도에 따른 결과를 확인하였다. 이 결과는 CMP 시뮬레이터 개발에 유용하게 이용될 수 있으며, 새로운 CMP 공정 모델을 설립하여 성능이 향상된 CMP 장비개발 및 공정개발을 도울 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문은 향후 차세대 반도체 제조공정 중 핵심적 분야인 CMP 공정에 대하여, 지금까지 실험에만 의존 하던 경험적 연구의 한계를 넘어서, CMP 공정 시뮬레이션을 수행하여 공정 진행 과정 및 메커니즘을 이해 하고, 나아가 환경 변수에 따라 발생할 수 있는 새로운 공정개발을 위한 시간을 줄일 수 있으리라 사료된다.