

## 스윙 암 컨디셔너의 기구학적 해석을 통한 CMP 패드 프로파일 변화에 관한 연구

### A Study on Pad Profile Variation using Kinematical Analysis on Swing Arm Conditioner

오지현<sup>1</sup>, 이상직<sup>1</sup>, 이호준<sup>1</sup>, 조한철<sup>1</sup>, 이현섭<sup>1</sup>, 김형재<sup>2</sup>, 정해도<sup>1a</sup>

(Jiheon Oh<sup>1</sup>, Sangjik Lee<sup>1</sup>, Hojun Lee<sup>1</sup>, Hanchul Cho<sup>1</sup>, Hyunseop Lee<sup>1</sup>, Hyoungjae Kim<sup>2</sup>, and Haedo Jeong<sup>1a</sup>)

#### Abstract

There are many factors to affect polishing performance normally in chemical mechanical polishing (CMP) process. One of the factors is a pad profile. A pad profile has not been considered as a significant factor. However, a pad profile is easily changed by conditioning process in CMP, and then changed pad profile affects polishing performance. Therefore, understanding how the pad profile is changed by conditioning process is very important. In this paper, through the simulation based on kinematic analysis, the variation of the pad profile was described in accordance with difference condition of conditioning process. A swing-arm type conditioner was applied in this simulation. A swing-arm type conditioner plays a role of generating asperities on pad surface. The conditions of conditioning process to get uniform removal were also investigated by comparing the simulation with the experiment.

**Key Words** : Swing arm conditioner, Simulation, Pad profile, Kinematic analysis

#### 1. 서 론

반도체 기판 배선의 집적도가 높아짐에 따라 배선 폭이 더욱 작아지고 다층구조가 일반적으로 되었다. 이를 만족시키기 위해 기판의 광역 평탄화를 이룰 수 있는 Chemical Mechanical Polishing (CMP)가 필수적인 과정이 되고 있다. 그림 1은 CMP 과정의 개략적인 모식도를 나타내었다. CMP 공정 중 재료 연마율을 유지시키기 위해 컨디셔닝 공정이 필요하다. 컨디셔너로는 스윙암 컨디셔너가 주로 사용된다. 그림 1에서처럼 스윙암 컨디셔너는 다이아몬드입자를 디스크에 전착시킨 다이아몬드

컨디셔너가 스윙하는 지지대 끝 쪽에 부착되며, 패드 반경방향으로 앞 뒤로 스윙하며 컨디셔닝 공정을 수행한다. 스윙 하는 구간은 네 부분으로 나뉘며 각 구간 마다 스윙 속도를 조절할 수 있다. 컨디셔닝 공정은 패드의 거칠기를 재생시키며 연마시 발생하는 잔류 물질을 제거하지만[1] 패드 프로파일을 불균일하게 변형시킨다[3]. 패드 프로파일이 불균일한 것은 패드반경 방향으로 패드 제거량이 다르기 때문이다. 즉, 패드 제거량은 다이아몬드 입자가 패드를 지나가는 거리에 비례한다[5]. 지나가는 거리 즉, 상대 속도에 따른 슬라이딩 거리에 대한 시뮬레이션은 웨이퍼의 연마율에 대해서 주로 이루어졌다.[6] 그리고 컨디셔너에 대한 기구학적인 시뮬레이션은 컨디셔너가 스윙하지 않고 고정되어 있는 경우에 연구 되었으며[7] 스윙암 컨디셔너에 대한 기구학적 접근이 있었지만[3] 시뮬레이션을 바탕으로 평탄한 패드 프로파일을 얻을 수 있는 연구는 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 스윙암 컨디셔너에 대한 시뮬레이션을 수행

1. 부산대학교 기계공학과 정밀기계공학 CMP LAB.

(부산시 금정구 장전동 산30)

2. 한국생산기술연구원 초정밀복합가공팀

a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr

접수일자 : 2008. 4. 23

1차 심사 : 2008. 10. 2

심사완료 : 2008. 10. 15

하였으며 패드 제거량을 균일하게 만들기 위한 방법을 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제시하였다.

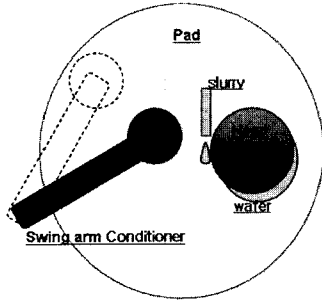


그림 1. CMP와 스윙암 컨디셔너 개략도.  
Fig. 1. Schematic of swing arm conditioner and CMP equipment.

NOMENCLATURE

- $\vec{R}_a$ : 패드 중심에서 컨디셔너 중심까지의 벡터
- $\vec{R}_p$ : 패드 중심에서 다이아 입자까지의 벡터
- $\vec{R}_c$ : 컨디셔너 중심에서 다이아 입자까지의 벡터
- $\vec{w}_a$ : 패드의 회전 각속도 벡터
- $\vec{w}_c$ : 컨디셔너의 회전 각속도 벡터
- $\vec{v}_a$ : 스윙암이 스윙하는 선속도
- $A(t)$ : 패드 중심에서 컨디셔너 중심까지에 이르는 거리
- $C$ : 컨디셔너 중심에서 다이아몬드 입자에 이르는 거리

1.1 시뮬레이션

1.1.1 기본개념

Preston 방정식은 연마에 의한 기본적인 재료 제거가 압력과 속도에 따라 비례하는 것을 보여준다. Preston 방정식에서 연마율은 적용된 힘과 상대속도에 대해 비례한다. Preston 방정식[2]은 다음과 같다.

$$Q = k \cdot p \cdot v \cdot t \quad (1)$$

$Q$ 는 연마량을 나타내며,  $p$ 는 연마물에 적용되

는 압력,  $v$ 는 연마물과 패드의 상대속도를 나타낸다.  $k$ 는 상수로서 연마 환경에 따라 달라진다.

Preston 방정식은 연마되는 물질에 다양하게 적용된다[4]. 따라서 Preston 방정식에 기초하여 패드 제거가 일어나는 경향을 분석할 수 있다[5]. 본 연구의 시뮬레이션에서는 슬라이딩 거리에 영향을 주지 않는 상수  $k$ 와  $p$ 를 고정시키고 상대속도에 따라 바뀌는 ' $v \cdot t = s$ '을 바탕으로 시뮬레이션을 수행했다.

1.1.2 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션을 위한 패드와 컨디셔너 디스크는 그림 2와 같이 표현 된다. 컨디셔너와 패드는 상대운동을 하므로 회전운동과 병진운동을 하는 직교좌표계를 사용하여 나타내었다.

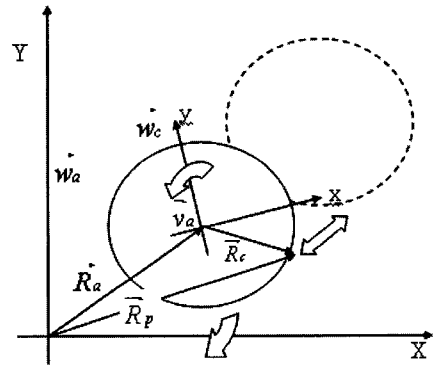


그림 2. 패드와 컨디셔너의 좌표계.  
Fig. 2. The coordinate system of a pad and a conditioner.

패드 제거량 시뮬레이션에 대한 가정은 다음과 같다.

1. 일정한 범위 안의 다이아몬드 입자는 컨디셔너 디스크상에 균일하게 분포되어 있다.
2. 모든 다이아몬드 입자는 패드 표면과 접촉한다.
3. 시뮬레이션에 필요한 물성치는 실험에 사용된 장비의 물성치와 같다.
4. 패드 제거는 패드 중심에 대하여 반경방향으로 대칭이다.

그림 3은 컨디셔너와 패드가 상대운동을 할 때 하나의 다이아몬드 입자가 패드 위에 그리는 궤적을 나타낸 것이다. 따라서 패드를 반경 방향으로 나누었을 때 각 구간마다 그려진 궤적에 대한 거리를 구할 수 있다. 다이아몬드 입자 한 점이 그리

는 벡터  $\vec{R}_p$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{R}_a = A \cdot \cos(w_a t) + A \cdot \sin(w_a t)i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \vec{R}_c = & C \cdot \cos(w_c t) \cdot \cos(-w_a t) \\ & - C \cdot \sin(w_c t) \cdot \sin(-w_a t) \quad (3) \\ & + C \cdot \cos(w_c t) \sin(w_a t)i \\ & + C \cdot \sin(w_c t) \cdot \cos(-w_c t)i \end{aligned}$$

$$\vec{R}_p = \vec{R}_a + \vec{R}_c \quad (4)$$

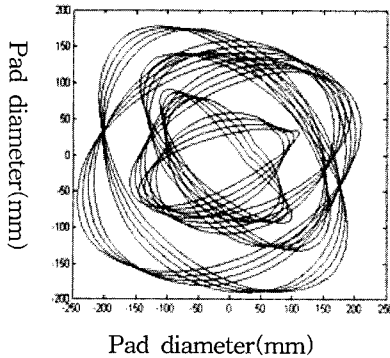


그림 3. 패드상 다이아몬드 입자가 그리는 궤적.  
Fig. 3. A path drawn by diamond grid on pad.

각 구간 궤적에 대한 거리를 구하기 위해 그림 4처럼 궤적 위에 위치하는 가장 가까운 두 점을 선택하였다. 가까운 두 점을 잇는 직선의 거리를 구하여 그 합을 각 구간에 해당하는 궤적의 합으로 정하였다.

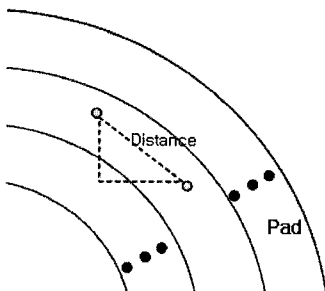


그림 4. 궤적에 대한 거리를 구하는 방법.  
Fig. 4. A method of calculation for sliding distance.

## 2. 실험 및 시뮬레이션

### 2.1 실험장치

실험장치는 지엔피테크놀로지(주)의 8인치용 CMP장비인 POLI-500을 이용하였다. POLI-500은 스윙암 컨디셔너가 장착되어있으며 스윙 구간마다 속도 조절이 가능하다. 또한 컨디셔닝에 의한 제거량을 측정할 수 있는 패드 프로파일러 PMS-800이 장착 되어 있다. PMS-800은 선형 게이지가 측정 팁에 부착되어 있으며 패드의 상대적인 위치 변위를 측정한다. 다이아몬드 컨디셔너는 KINIC사의 #100 전착 다이아몬드 디스크를 스윙 암에 부착하여 실시하였다. 실험 조건은 표 1과 같다.

표 1. 실험조건.

Table 1. Experiment condition.

		sector A	sector B	sector C	sector D
swing arm's velocity	Exp(a) [mm/s]	40	60	80	100
	Exp(b) [mm/s]	100	100	100	100
	Exp(c) [mm/s]	100	80	60	40

패드 회전 속도 60 rpm, 컨디셔너 회전 속도 60 rpm, 컨디셔너 압력 3.2 kg.f (53 g.f/cm<sup>2</sup>)으로 공정 변수를 고정하였으며 컨디셔닝 공정 중 첨가물은 DI water 이다.

그림 5에서 보듯이 실험 조건의 sector A 부분은 패드 중심에 가까운 쪽이며 sector D는 패드의 끝부분에 가까운 부분이다. 네 부분의 스윙암 속도를 바꾸어 컨디셔너가 패드위에 머무르는 시간을 다르게 할 수 있으므로 패드 프로파일을 바꿀 수 있다.

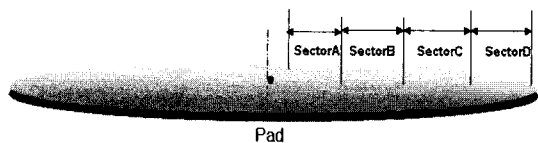


그림 5. 스윙 암 속도 변환이 가능한 sector의 위치.  
Fig. 5. The location of sector which can have different velocity of swing-arm.

### 2.2 시뮬레이션 조건

시뮬레이션의 조건은 표 1의 실제 실험 조건과 같게 하였다. 시뮬레이션의 기본 개념에서 언급한 것과 같이 압력  $p$ 와  $k$  값은 고정시키고 다이아몬드 입자가 그리는 궤적의 거리에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션과 실제 실험에서 패드 제거량은 가장 큰 값에 대한 값으로 무차원화시켰다. 그림 6은 시뮬레이션한 결과와 실험 결과를 비교해서 보여준다.

### 3. 결과 및 고찰

각 실험 조건(a), (b), (c)에 대하여 그림 6의 (A)가 실제 패드 제거량을 나타내었고 (B)는 패드 제거량에 대한 시뮬레이션의 결과이다. 제거량은 가정에서 언급한 것과 같이 패드 중심에서부터 패드의 끝부분까지 반경 방향으로 나타내었다. 실험 (a)조건에서는 패드 중심과 가까운 부분에서 패드 제거가 많이 일어났으며 실험 (b) 조건에서는 스윙 구간의 중간에서 패드제거가 많이 일어났다. 그리고 실험 (c)조건에서는 패드의 가장자리 부분에서 많은 제거가 일어났다.

(a) 곡선과 (b) 곡선 비교 시 (a) 곡선이 패드 안쪽으로 더 많은 제거가 일어났으며 시뮬레이션에서도 같은 경향성을 가진다. 반면 (c) 곡선은 전체적으로 비슷한 경향을 보여주나 실제 실험 결과에서는 시뮬레이션과 비교하여 패드 끝부분에서 많은 제거가 일어났다. 이는 시뮬레이션은 초기 형상이 평탄하다고 가정하여 변화량을 나타내었으나 실제 실험에서의 초기 패드 형상은 평탄하지 않으며 패드의 끝 부분이 높은 상태이며 다이아몬드 컨디셔너가 실제적으로 접촉하는 면적이 틀리기 때문이다.[8] 비교한 결과에서 보듯이 Preston 방정식을 바탕으로 한 패드 제거량 시뮬레이션은 실제 실험 결과와 매우 비슷한 경향을 가진다.

따라서 다이아몬드의 궤적에 의한 패드 제거 모델은 패드제거의 경향을 예측하는데 큰 신뢰성을 주며, 이를 통해 실제 실험을 통하지 않아도 패드 제거의 경향성을 예측할 수 있다.

스윙 압의 속도를 각 구간 일정하게 유지 했을 때 나타나는 패드 제거량은 스윙구간 중 가운데 부분에서 가장 크다. 이는 스윙 압의 전체 구간 중 가운데 부분에서 다이아몬드 입자가 그리는 궤적의 합이 크기 때문이다. 그리고 패드 반경 340 mm에서 440 mm 사이에는 일정한 패드제거가 일어난 것을 확인할 수 있다. 이는 스윙압이 스윙함에 따라 다이아몬드가 그리는 궤적의 합이 그 구간

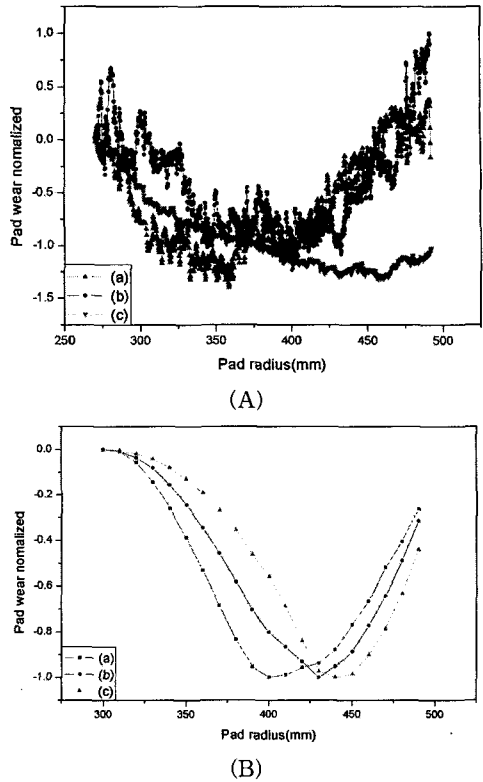


그림 6. 실험결과(A)와 시뮬레이션(B) 결과 비교.  
Fig. 6. The comparison between experiments (A) and simulation(B).

안에서 일정하기 때문이다. 실험과 시뮬레이션에서 보듯이 컨디셔너가 스윙하는 구조를 갖기 때문에 스윙 구간의 가운데 부분에서 궤적의 합이 일정한 구간이 있으며 스윙 속도를 느리게 가질 경우 그 부분에서 패드 제거가 많이 일어난다.

따라서 일정한 궤적이 분포되는 구간을 늘이기 위해서 각 구간은 같은 스윙 속도를 가져야하며 스윙하는 구간을 늘려야 한다. 그 방법으로 상대적으로 컨디셔너 크기를 작게 하는 것과 스윙구간을 늘이는 것이 있다. 그림 7(a)는 컨디셔너의 크기를 반으로 줄인 시뮬레이션 결과이며, 그림 7(b)에서는 실제 스윙구간을 패드 반경보다 30 mm 늘린 시뮬레이션 결과이다. 그림 7에서 비교되는 A는 스윙압 구간 속도를 모두 일정하게 적용하고 스윙구간이 패드반경의 길이와 같은 시뮬레이션이다. 두 경우의 시뮬레이션에서 일정한 패드 제거가 일어나는 부분이 넓어지고 패드 제거량은 줄어들었다. 패드 전면에서 일정한 제거가 가능한 것은 컨디셔닝 공정을 수행하여도 패드 프로파일이 불균

일하게 변하지 않는다는 것이다. 또한 패드가 불균일하게 마모 되었을 때 스윙암의 스윙구간을 조절하여 원하는 패드 프로파일을 만들 수 있다.

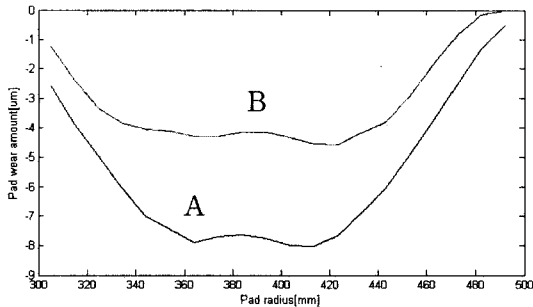
드 프로파일의 불균형을 보완할 수 있다.

### 감사의 글

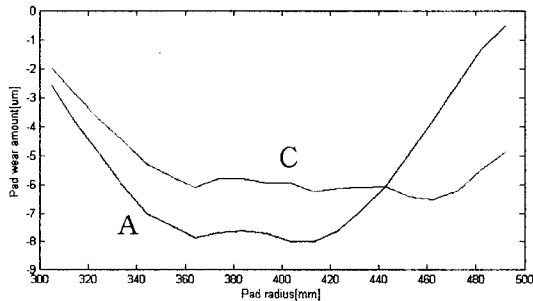
본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-01003-0) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] B. J. Hooper, G. Byrne, and S. Galligan, "Pad conditioning in chemical mechanical polishing", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, p. 107, 2002.
- [2] F. W. Preston, "The theory and design of plate glass polishing machines", *Journal of the Society of Glass Technology*, Vol. 11, p. 214, 1927.
- [3] K. Achuthan, J. Curry, M. Lacy, D. Campbell, and S. V. Babu, "Investigation of pad deformation and conditioning during the CMP of silicon dioxide films", *Journal of Electronic materials*, Vol. 25, No. 10, p. 1628, 1996.
- [4] Q. Luo, S. Ramarajan, and S. V. Babu, "Modification of the preston equation for the chemical-mechanical polishing of copper", *Thin Solid Film*, Vol. 335, Issues 1-2, p. 160, 1998.
- [5] S. J. Lee, W. K. Shin, and K. H. Park, "Kinematical approach on pad surface profile induced by pad conditioning in CMP", p. 75, ASPEN2007.
- [6] H. J. Kim, H. Y. Kim, and H. D. Jeong, "Kinematic analysis of chemical mechanical polishing and its effect on polishing results", *Key Engineering Materials*, Vol. 238, p. 229, 2003.
- [7] W. M. Jang, H. J. Kim, and H. D. Jeong, "Mathematical modeling of CMP conditioning process", *Micro Electronic Engineering*, Vol. 84, p. 557, 2007.
- [8] Carolina L. Elmufdi and Gregory P. Muldowney, "The impact of diamond conditioning on surface contact in CMP pads", *Material Research Society*, Vol. 991, 0991-C01-02, 2007.



(a) 컨디셔너의 크기를 작게 한 시뮬레이션



(b) 스윙구간을 늘인 시뮬레이션

그림 7. 균일한 패드 제거를 일으키는 조건.

Fig. 7. Condition which generate uniform pad removal on pad.

### 4. 결론

다이아몬드 입자가 그리는 궤적의 합을 구하여 반경방향으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 정당성을 확보하기 위해 시뮬레이션과 같은 조건으로 실험을 수행하였으며 실험결과와 시뮬레이션 결과가 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 궤적의 합을 통한 시뮬레이션은 패드 제거의 경향을 예측하는데 신뢰성을 주며 시뮬레이션을 바탕으로 스윙암 구간속도가 변화될 때 패드 프로파일이 형성되는 경향을 예측할 수 있다. 또한 패드 전면에 균일한 패드 제거를 일으키기 위해서 스윙구간을 늘이는 방법이 있으며 실제 스윙구간을 늘이는 것과 컨디셔너 크기를 작게 가지는 두 가지 경우가 있다. 이를 통해서 이상적인 패드프로파일을 만들 수 있을 뿐만 아니라 CMP 공정 중에 일어나는 패