

# Particle Image Velocimetry기법을 이용하여, Chemical Mechanical Polishing 공정시 Slurry 유동장 측정

신상희, 김문기, 고영호, 김호영, 이재동, 홍창기, 윤영빈\*

서울대학교 기계항공공학부 대학원, 삼성전자, 서울대학교 기계항공공학부\*

## Measurement of the Slurry Flow-Field during Chemical Mechanical Polishing

Sanghee Shin, MunKi Kim, Young-Ho Koh\*, HoYoung Kim\*, JaeDong Lee\*, ChangKi Hong\*, Youngbin Yoon\*

School of Mech. & Aero. Engr. Seoul National University, Samsung Electronics\*, Seoul National University\*\*

### Abstract

Chemical Mechanical Polishing(CMP) in semiconductor production is characterized its output property by Removal Rate(RR) and Non-Uniformity(NU). Some Previous works shows that RR is determined by production of pressure and velocity and NU is also largely affected by velocity of flow-field during CMP. This study is about the direct measurement of velocity of slurry during CMP and reconstruction whole flow-field by Particle Image Velocimetry(PIV) Techniques. Typical PIV system is tuned adequately for inspecting CMP and Slurry Flow-field is measured by changing both Pad RPM and Carrier RPM. The results show that velocity is majorly determined not by Carrier RPM, but by Pad RPM.

**Key Words : Chemical Mechanical Polishing(CMP), Particle Image Velocimetry(PIV), Flow-Field of Slurry, Nonuniformity of Velocity**

### 1. 서론

현재의 반도체 공정의 추세는 웨이퍼의 대형화와 고집적화이다. 이를 위해서는 무엇보다도 웨이퍼의 대형화와 배선 구조의 다층화 및 최소 선폭의 미세화가 이루어져야 하며, 웨이퍼의 대형화와 배선 구조의 다층화 및 최소 선폭의 미세화가 진행되면서 동시에 그 중요성이 강조되고 있는 반도체 공정기술은 광역 평탄화 기술이다. 배선 구조의 층이 많아지고 배선의 폭이 미세해질수록 반도체 디바이스 내의 요철의 크기가 선폭에 비해서 절대

적, 상대적으로 점차 커져 가는데, 이러한 요철은 1 $\mu$ m 이하의 미세한 회로패턴을 만들 때에 보다 엄격한 초집심도를 필요로 하는 반도체 필수 공정인 노광 공정 시에 치명적인 문제점을 발생시킨다. 따라서 문제의 근본 원인인 요철들을 웨이퍼 전면에 대하여 없애야 하는 필요성이 생기게 되었고, 이를 충족시키기 위한 광역 평탄화 공정의 중요성이 새롭고 절실하게 인식되기 시작하였다. 이에 가장 적합한 공정으로 제시되고 있는 것이 화학적 연마와 기계적 연마의 장점을 혼합한 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정으로 미국의 IBM 사에 의해 개발되었다. CMP 공정은 저온에서 기존의 공정보다 1000배 이상의 평탄화 능력을 갖추어 어

떠한 재료에 대해서도 평탄화가 가능하다는 장점이 있으나 비교적 최근에 개발되어 Mechanism이 명확하게 규명되어 있지 않고, 공정에 영향을 주는 변수들이 다양하여, 가속화되는 반도체의 고집적화, 다층화 추세에 부합하려면, 기본 Mechanism에 대한 연구가 필수적이다.

CMP공정과 유사한 공정에서 제거율(Removal Rate)에 대한 공식으로 Preston equation이 제시되고 있으며, 현재까지 이 공식을 바탕으로 CMP공정을 분석하고 있다. Preston equation에 의하면, 제거율은 압력과 속도에 비례하게 된다.[1] 하지만 이 식은 실제 공정의 결과와 많은 차이를 드러내고 있으며, 이로 인해 위의 공식을 바탕으로 실제 공정에 보다 적합한 식을 만들어 내고자하는 노력들이 진행되어 왔다.[2][3]

본 연구에서는 제거율에 직접적 영향을 줄 것으로 예상되는 압력과 속도 중, 속도에 대해 알아보기 위해 정량적인 데이터를 얻어낼 수 있고, 또 실험 방법 상 실제 슬러리의 흐름과 유사할 것으로 기대되는 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 사용하여, 실제 CMP공정 중 슬러리 흐름에 대한 측정을 진행하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 하나의 헤드를 가진 Presi사의 초기 모델의 CMP 설비에 LaVision사의 PIV장치를 적용하여 진행되었다. Polishing Pad는 cabot사의 Non-groove pad Epad-A100를 사용하였으며, 실제 공정에서 사용하는 Rodel사의 IC1400 k-grv패드도 사용하였다.

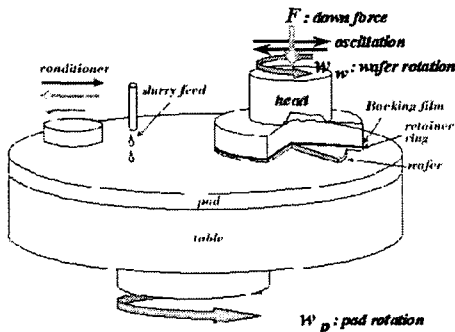


그림 1. CMP 장치 개략도

Wafer밑의 유동장 가시화를 위해서, 아크릴로 제작된 Carrier를 사용하였으며, CMP 장치 내부의 공간이 협소한 관계로 Laser를 외부에 두고, Guide Arm과 Endoscope를 사용하여 bulk beam을 측정 영역에 조사하는 방식을 이용하였다. 카메라는 CMP 설비의 회전축에 고정 링을 이용하여 설치하였으며, 산란된 beam이 영향을 주는 것을 막기 위해, high pass filter를 사용하여, 형광입자가 내는 형광신호 이외의 다른 신호들을 걸러내었다. 형광입자는 7 $\mu$ m의 입자를 메탄올과 혼합하여, 완전히 용해한 후 DI water와 혼합하여 사용하였다.

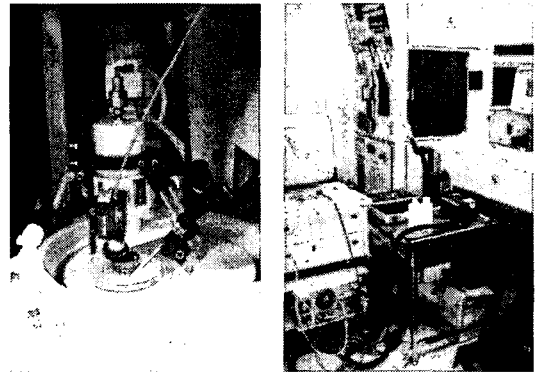


그림 2. 실험장치의 설치 환경

Carrier의 전영역에서의 유동장을 측정하기 위해 선 구조적인 어려움과 카메라의 측정영역의 한계로 30도씩 12개의 영역으로 분할하여 측정하였고, 2psi의 압력을 적용하여 polishing을 진행하였으며, 50번의 반복 측정을 시행한 후, 이를 평균하여 유동장을 구해내었다. Carrier와 Pad의 회전 RPM을 변화시켜가며 측정하였고, 그 조건은 다음표와 같다.

표 1. Carrier와 Pad의 RPM 변화 조건

Non-Groove Pad 실험조건	Carrier RPM	Pad RPM
case 1	33	84
case 2	57	84
case 3	93	84
case 4	57	113
case 5	93	145

Groove Pad 실험조건	Carrier RPM	Pad RPM
case 1	57	84
case 2	75	84
case 3	84	84
case 4	93	84
case 5	57	113
case 6	57	145

\* case 5와 case 6은 부분 측정

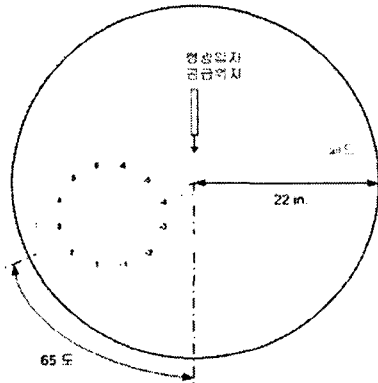
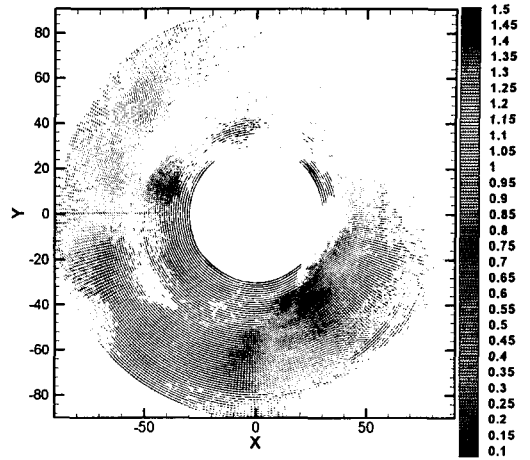


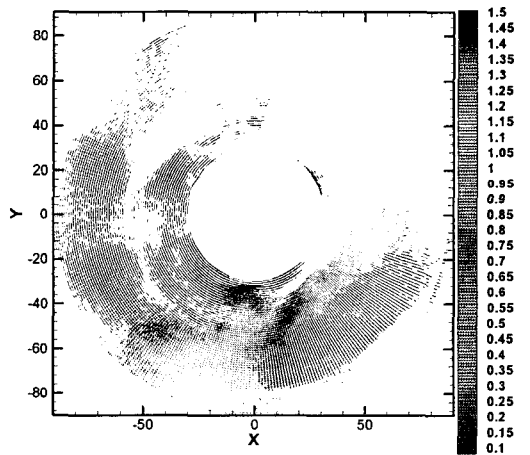
그림 3. 측정위치 개략도

### 3. 결과 및 고찰

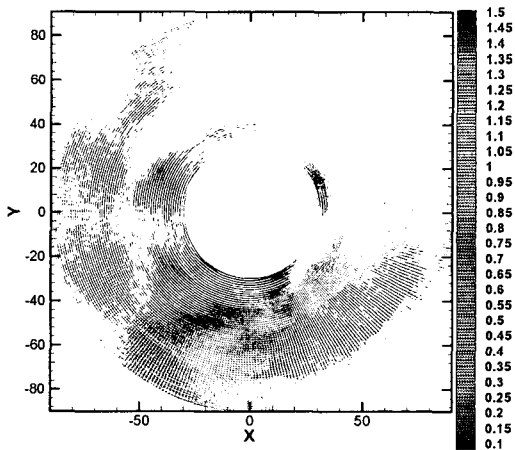
Non-Groove Pad에서의 유동장 측정 결과는 다음과 같다.



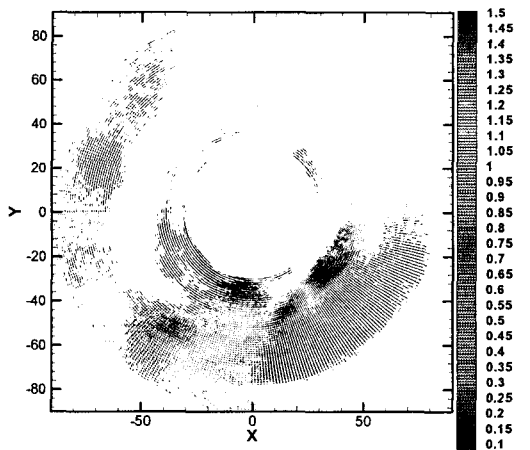
(b) case 2



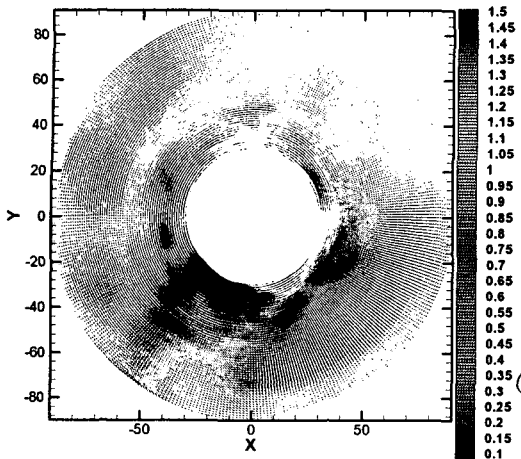
(c) case 3



(a) case 1



(d) case 4



e) case 5

그림 4. Non-Groove Pad에서의 유동장 속도분포

CMP 공정 중에서 Slurry의 유동장은 일반적으로, Pad RPM에 의한 선속도 성분에서 Carrier RPM에 의한 선속도 성분을 뺀 상대속도 값에 비례한다고 여겨져 왔다.[4] 하지만 case1, case2, case3의 경우를 비교하여 보면, Carrier의 RPM이 꾸준히 증가하여 Pad RPM에 의한 선속도 성분이 상대적으로 크게 되어 전체 속도 분포가 증가해야 함에도 불구하고, 그렇지 않음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, Carrier의 RPM이 Pad RPM보다 빠른 case3조건에서도 Wafer의 Pad center에서 먼 쪽이 Pad center에 가까운 쪽보다 여전히 더 빠름을 알 수 있다. 단순히 Pad의 RPM에 의한 선속도 성분에서 Carrier의 RPM에 의한 선속도 성분을 뺀 결과와는 정반대의 경향을 나타내고 있다. 따라서 Carrier에 의한 영향은 어느 한계를 가지고 있으며 그 한계 이상으로는 증가하지 않음을 알 수 있다.

또한 case2, case4, case5의 결과를 살펴보면, Pad의 RPM에 따라 부분적으로 붉은 영역이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Pad RPM의 증가가 유동장의 속도에 큰 영향을 줌을 알 수 있다. 다만, Pad RPM에 정확히 비례하여 증가하지 않음을 보면, Carrier RPM의 경우와 마찬가지로 어느 정도의 한계 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 부분적으로 좁은 영역 붉은 영역이 증가하는 것으로 보아, 유동장의 흐름이 불균일해지는 것으로 추정해 볼 수 있다.

#### 4. 결론

이상의 결과에서 살펴봤듯이, 실제 유동장을 측정해본 결과, 기존의 연구자들이 제시했던 시뮬레이션 모델과는 달리, Carrier와 Pad가 Slurry 유동장에 미치는 영향이 각기 다를 수 있고, 상대적으로 Pad에 의한 영향이 큼을 알 수 있다. 이는 Pad center에서의 거리가 Carrier center부터의 거리보다 훨씬 큰 점, 그리고 Pad의 거칠기(roughness)가 Carrier의 거칠기보다 큰 점에서 기인한다고 볼 수 있다.

또한 RPM의 증가와 속도장의 증가가 일치하지 않음을 알 수 있는데, 이는 측정된 속도장이 형광 입자가 Pad와 Carrier의 직접적이고 강력한 기계적 접촉에 의해 생겨난 것이라기보다는 물에 의한 유효작용이 있음을, 또 그로인한 유체 공학적 영향이 있음을 유추할 수 있는 부분이라고 할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 삼성전자 공정개발팀과의 산학협동과제의 일환으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] F. Preston, J. Society of Glass Technology, 247, p.11, 1927.
- [2] Q. Luo, S. Ramarajan, and S. V. Badu, "Modification of the Preston equation for the chemical-mechanical polishing of copper", Thin Solid Films 335, p. 160-167, 1998.
- [3] W.-T. Tseng and Y.-L. Wang, J. Electrochemical Society, 144, L15, 1997.
- [4] W.-T. Tseng, J.-H. Chin, and L.-C. Kang, "A Comparative Study on the Roles of Velocity in the Material Removal Rate during Chemical Mechanical Polishing", J. Electrochemical Society, 146, p.1952-1959, 1999.