

# PIV를 이용한 Chemical Mechanical Polishing 공정 중의 연마용액 유동흐름 측정

신상희<sup>†</sup> · 김문기\* · 윤영빈\* · 고영호\*\*

## Visualization of the Slurry Flow-Field during Chemical Mechanical Polishing by PIV

Sanghee Shin, MunKi Kim, Youngbin Yoon and Young-Ho Koh

### Abstract

Chemical Mechanical Polishing(CMP) is popularly used in production of semiconductor because of large area polishing ability probability of improvement for more integrated circuit. However, present CMP processing causes some non-uniformity errors which can be critical for highly integrated circuit. Previous studies predict that flow-field of slurry during CMP can create non-uniformity, but no quantitative measurement has conducted. In this study, using PIV, slurry velocity flow-field during CMP is measured by changing the ratio of RPM of pad and carrier with tuned PIV system adequate for small room in CMP machine and Cabot's non-groove pad Epad-A100. The result show that velocity of slurry is majorly determined by pad-rpm and the ratio of between carrier and pad rpm make some changes in streamlines.

**Key Words** : Chemical Mechanical Polishing (화학적 기계적 연마), Particle Image Velocimetry (입자 이미지 유속계), Flow-Field of Slurry (슬러리 연마 용액의 유동장), Non-Uniformity (불균일성)

### 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 절대적, 상대적으로 점차 커져 가는데, 이러한 요철은 1 $\mu$ m 이하의 미세한 회로패턴을 만들 때에 보다 엄격한 초점심도를 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

---

<sup>†</sup> 서울대학교 기계항공공학부 대학원  
E-mail : efreet99@snu.ac.kr

\* 서울대학교 기계항공공학부

\*\* 삼성전자 공정개발팀

혼합한 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정으로 미국의 IBM 사에 의해 개발되었다. CMP 공정은 저온에서 기존의 공정보다 1000배 이상의 평탄화 능력을 갖추어 어떠한 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.<sup>1)</sup> 하지만 이 식은 실제 공정의 결과와 많은 차이를 드러내고 있으며, 이로 인해 위의 공식을 바탕으로 실제 공정에 보다 적합한 식을 만들어 내고자 하는 노력들이 진행되어 왔다.<sup>2)3)</sup>

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 실험방법

#### 2.1.1 실험장치 및 조건

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.

Wafer밀의 유동장 가시화를 위해서, 아크릴로 제작된 Carrier를 사용하였으며, CMP 장치 내부의 공간이

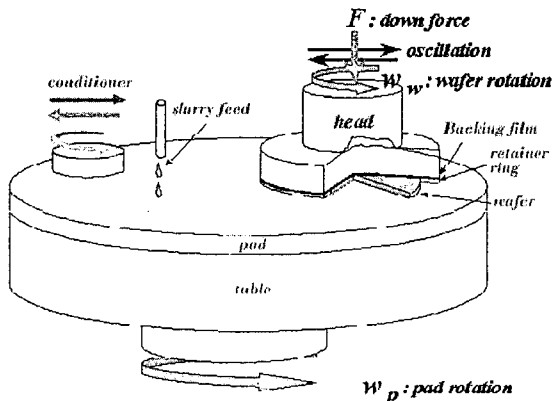


그림 1. CMP 장치 개략도

협소한 관계로 Laser를 외부에 두고, Guide Arm과 Endoscope를 사용하여 bulk beam을 측정 영역에 조사하는 방식을 이용하였다. 원래 PIV는 Sheet beam을 이용하여, Laser beam이 지나는 평면을 카메라로 촬영하여 그 2장의 영상의 유사정도를 비교하여 유동장을 측정하나, CMP 장치는 그림 1과 같이 원판위를 따라 움직이는 유동의 흐름을 측정하여야 하며, 그 유동장이 실제 존재하는지조차 뚜렷이 밝혀지지 않은 상태이며, 그 유동 두께가 20 $\mu$ m정도로 예상되고 있어서, Sheet beam을 적용할 수가 없었다. 대신, Bulk beam을 사용하였을 때 Pad에 반사되는 Beam이 noise를 유발시킬 것을 막기 위하여, 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.

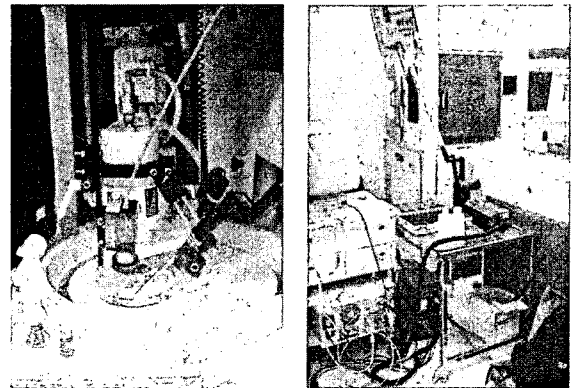


그림 2. 실험장치의 설치 환경

Carrier의 전영역에서의 유동장을 측정하기 위해선 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

LaVion에서 개발된 PIV 소프트웨어인 DaVis를 이용하여 획득한 이미지를 원하는 속도 벡터장으로 계산하였다. 벡터장의 정확성을 위해서 adaptive multi-pass 알고리즘을 이용하여 분석하였으며, median 필터를 사용하여 잘못된 벡터를 후처리 과정을 통해 제거하였다. 그림

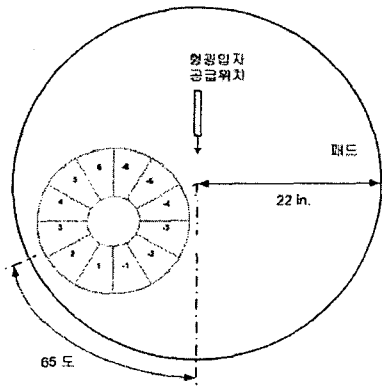


그림 3. 측정위치 개략도

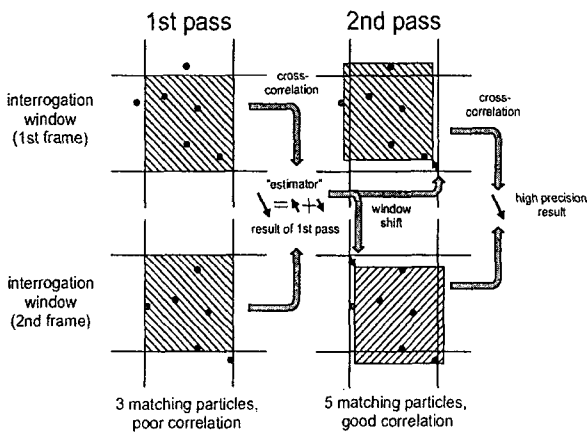


그림 4. Adaptive multi-pass 알고리즘의 예

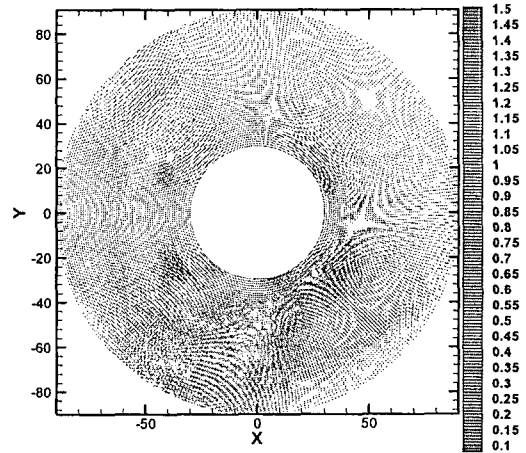
4는 adaptive multi-pass의 알고리즘에 대해 간략히 나타낸 그림으로, 이 알고리즘을 사용하면 신호 대 잡음비가 낮거나 입자 쌍의 분포가 적은 조건에서 보다 정확한 속도장을 얻을 수 있다. 즉, 첫 번째 상관관계에 의해 얻은 속도값을 이용하여 조사영역의 창을 이동시켜 첫 번째 상관관계에 비해 더 많은 입자쌍을 찾을 수 있어 보다 정확한 상관관계를 얻을 수 있게 된다.

### 3. 실험 결과

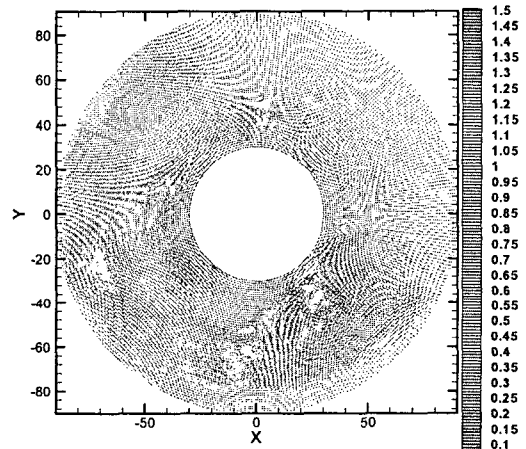
유동장 측정 결과는 다음과 같다. CMP 공정 중에서 Slurry의 유동장은 일반적으로, Pad RPM에 의한 선속도 성분과 Carrier RPM에 의한 선속도 성분의 합이 평균 속도에 비례한다고 여겨져 왔다. case1, case2, case3의 경우를 비교하여 보면, Carrier의 RPM과 Pad RPM에 의한 선속도 성분의 합에 비례하여 전체 속도 분포가 증가하는 모습을 보이는 듯 하나, 그 유사성에 어느 정도의 한계가 있음을 볼 수 있다. 따라서 Pad와 Carrier에 의한 영향은 어느 한계를 가지고 있으며 그

한계 이상으로는 증가하지 않음을 알 수 있다.

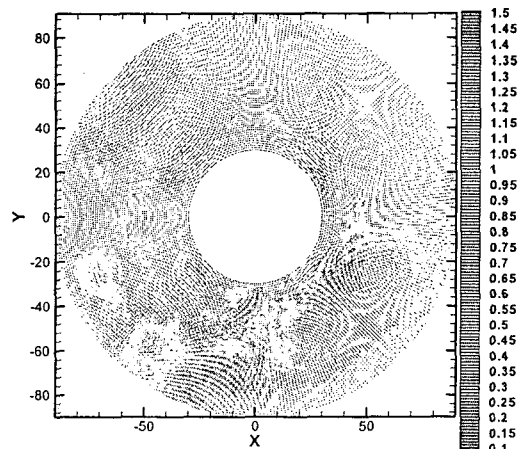
또한 case2, case4, case5의 결과를 살펴보면, Pad의 RPM에 따라 부분적으로 붉은 영역이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 Pad RPM의 증가가 유동장의 속도에 큰 영향을 줌을 알 수 있다. 다만, Pad



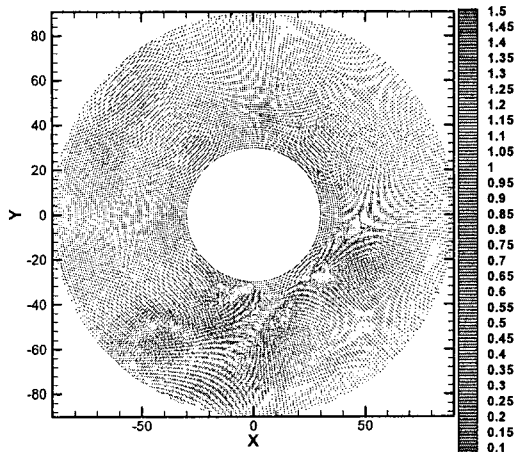
(a) case 1



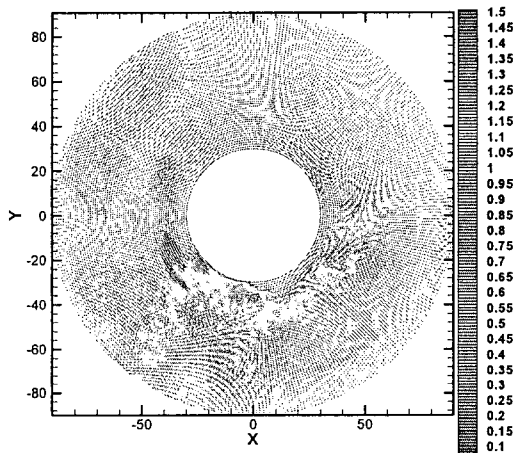
(b) case 2



(c) case 3



(d) case 4



(e) case 5

그림 5. 유동장 속도분포

RPM에 정확히 비례하여 증가하지 않음을 보면, Carrier RPM의 경우와 마찬가지로 어느 정도의 한계 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 부분적으로 좁은 영역 넓은 영역이 증가하는 것으로 보아, 유동장의 흐름이 불균일해지는 것으로 추정해 볼 수 있다.

#### 4. 결론

이상의 결과에서 살펴봤듯이, 실제 유동장을 측정해 본 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 형광입자가 Pad와 Carrier의 직접적이고 강력한 기계적 접촉에 의해 생겨난 것이라기보다는 물에 의한 윤활작용이 있음을, 또 그로인한 유체 공학적 영향이 있음을 유추할 수 있는 부분이라고 할 수 있다.

#### 후기

본 연구는 삼성전자 공정개발팀과의 산학협동과제의 일환으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 1) F. Preston, 1927, J. Society of Glass Technology, 247, p.11.
- 2) Q. Luo, S. Ramarajan, and S. V. Badu, 1998, "Modification of the Preston equation for the chemical-mechanical polishing of copper", Thin Solid Films 335, p. 160-167.
- 3) W.-T. Tseng and Y.-L. Wang, 1997, J. Electrochemical Society, 144, L15.