

# 반도체용 실리콘 웨이퍼의 초정밀 입자 가공

이 글에서는 반도체 제조에서 초기과정이라 할 수 있는 실리콘 웨이퍼의 화학기계적 가공에 대하여 다루었다. 웨이퍼의 화학기계적 가공은 웨이퍼가 회로의 생성과정에 들어가기에 앞서 평탄도와 표면특성에서 높은 품위를 요구하기 때문에 매우 중요한 과정이다.

**이 은 상** 인하대학교 기계공학과, 교수  
**이 정 택** 인하대학교 기계공학과, 박사과정  
**원 중 구** 인하대학교 기계공학과, 박사

e-mail : leees@inha.ac.kr  
e-mail : anamura@naver.com  
e-mail : totorowo@naver.com

반도체 산업에서 칩의 구조밀도는 매 18개월마다 두 배씩 증가한다는 무어의 법칙은 제창 40년이 지난 지금까지도 유효하며 집적도는 증가하고 있다. 반도체는 우리가 가장 밀접히 사용하는 컴퓨터를 포함한 각종 가전제품, 통신장비, 자동차, 산업 자동화를 위한 컨트롤 시스템 등에서 발견할 수 있다. 이런 반도체의 대부분은 단결정의 실리콘 웨이퍼에서 제조된다. 반도체 산업에서는 이미 여러 차례에 걸쳐 웨이퍼의 직경을 늘려 왔다. 웨이퍼의 직경은 1970년대에 50mm보다 작은 직경에서부터 200mm를 거쳐 현재 도입되고 있는 300mm까지 제작되고 있다. 200mm 웨이퍼에 비해 300mm 웨이퍼는 그 직경의 커지면서 약 2.5배의 높은 칩 생산율을 낼 수 있다.

웨이퍼 직경의 증가에 따른 생산성 증가나 낮은 비용은 커다란 장점임이 분명하지만 웨이퍼의 대구경화와 고정밀화에 따라 무결합의 가공에 대한 중요도가 날로 높아지고 있으며, 복잡한 제조공정을 간소화시키면서 단위 시간당 처리량을 향상시킬 수 있는 가공기술에 대한 요구가 심화되고 있는 실정이다. 웨이퍼 폴리싱은 웨이퍼가 회로의 생성과정에 들어가기에 앞서 평탄도와 표면특성에서 높은 품위를 요구하기 때문에 매우 중요한 과정이다.



그림 1 IDF에서 인텔 CPU발표 현장에서의 300mm 웨이퍼

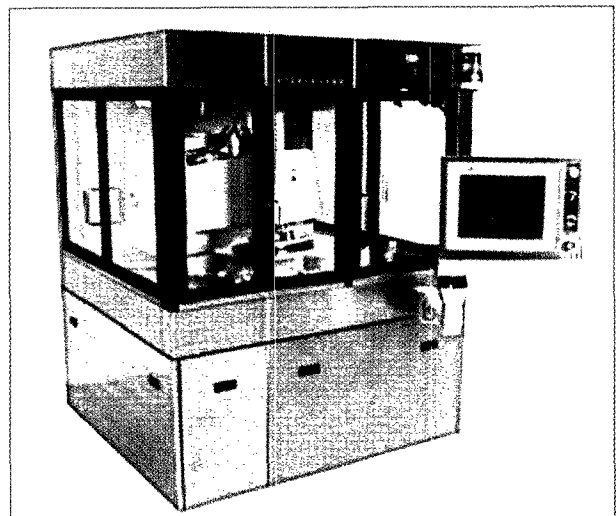


그림 2 화학적 기계적 연마장비

### 화학적 기계적 연마

이처럼 반도체 웨이퍼를 정밀하게 평면 연마하는 기술로 현재까지도 대안이 없을 만큼 독보적인 기술이 CMP(Chemical Mechanical Polishing; 화학적 기계적 연마) 기술이다. 이 CMP 기술은 1983년 미국 IBM 사가 개발한 이후 매년 국내에 출원되는 관련 특허만 수백 건에 달하는 고집적 반도체 제조에 필수적인 기술이다.

그림 4는 웨이퍼 폴리싱 가공의 기본적인 방법을 대략적으로 나타낸 것으로 대부분의 화학적 기계적 연마나 웨이퍼 폴리싱 장비는 위와 같이 웨이퍼와 폴리싱 패드를 동일방향으로 회전시키면서 연마를 진행하는 상대운동 기구를 사용하고 있다. 이러한 구동기구는 웨이퍼의 각속도와 폴리싱 패드의 각속도를 동일하게

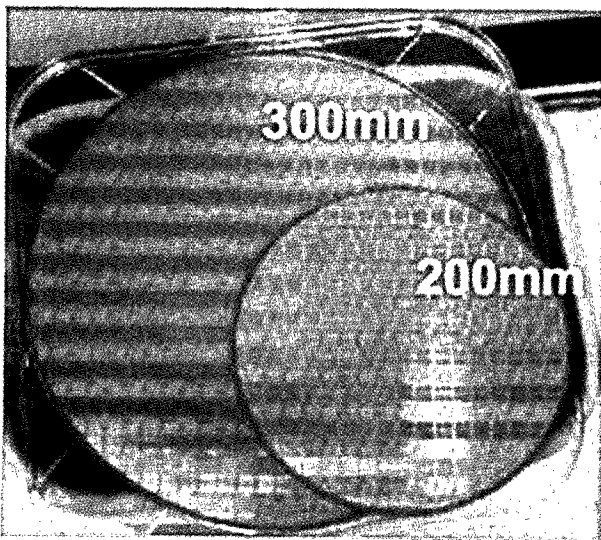


그림 3 300mm 웨이퍼와 200mm 웨이퍼의 비교

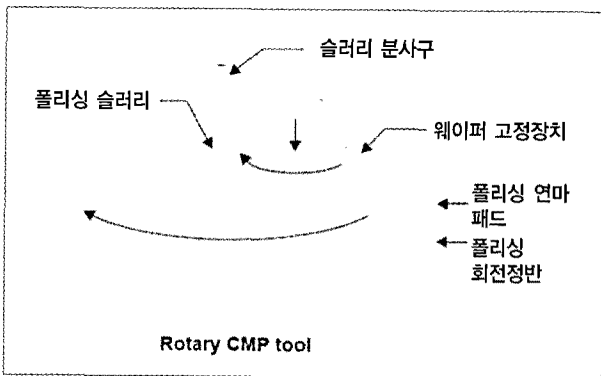


그림 4 웨이퍼 폴리싱 구동 개략도

해줌으로써 웨이퍼 전면에서 균일한 상대속도조건으로 연마를 진행하는 것으로 알려져 있다.

웨이퍼가 부착되는 케리어 헤드 위에는 가압을 위해 공압 액추에이터로 작동되며 패드 테이블과 웨이퍼가 부착된 헤드 사이에 가압력이 부하되고, 회전함에 따라 슬러리와 웨이퍼 표면이 패드위에서 상호 작용함으로써 가공이 수행된다.

웨이퍼의 폴리싱은 화학적인 요소와 기계적인 요소가 복합된 공정으로서, 기계적인 요소는 슬러리에 포함된 연마입자에 의한 제거가공이며, 화학적인 요소는 웨이퍼 표면에서의 화학적인 반응현상이다. 기계적인 요소는 폴리싱 패드, 연마입자, 웨이퍼 표면과의 상호 물리적인 작용과 관계가 있다. 물리적인 관계는 슬러리의 점성과 웨이퍼의 상대속도, 수직압력, 연마입자의 크기와 경도, 폴리싱 패드 자체의 경도와 연마입자 흡수성, 표면거칠기, 웨이퍼 곡률 등에 좌우된다. 통상적인 연마가공의 경우 화학적 작용과 기계적 작용은 잘 알려져 있지 않다. 래핑의 경우 재료의 제거는 주로 연마 입자에 의한 긁힘, 압입, 스크래치 등의 기계적인 현상에 좌우되고, 슬러리의 화학적 효과는 표면을 연화시킨다거나 재료 제거율을 높여 준다는 것으로 알려져 있다.

슬러리의 연마입자는 10~80nm 사이즈의 기계적인 연마입자와 pH값이 높은 화학적인 용액으로 구성되어 있다. 이렇게 기계적인 연마와 화학적인 연마로 복합적인 가공을 하지만 연마 공정 중에 기계적인 역할과 화학적인 역할의 비율은 다른 것으로 알려져 있다.

### CMP에서 화학 · 기계적 가공 비율

웨이퍼 폴리싱에 사용되는 슬러리는 콜로이드실리카, 폼드 실리카 등 제거하려는 소재와 연마율에 따라 다양한 종류가 있다. 슬러리는 10~100nm 사이즈의 기계적 연마입자와 높은 pH 수치를 갖는 화학적인 용액으로 구성되어 있다. 연마입자의 농도와 pH 수치에 따라 다르게 혼합되어진 슬러리를 이용하여 기계적인 연마제와 화학적인 요소가 재료제거율에 어떠한 영향을 미치는지 연구되었다.

그림 5는 pH에 따라 웨이퍼의 재료 제거율을

보여주고 있는데, pH가 10.40에서 10.68로 상승할 때의 제거율은 그래프의 기울기가 급격하다 하더라도 극히 미미한 것을 볼 수 있다.

웨이퍼의 폴리싱 가공은 기계·화학적인 연마를 수행하지만 화학적인 연마에 의한 재료제거율은 전체 제거율에서 5~10% 정도로 기계적인 연마입자에 의한 폴리싱에 비해 상대적으로 그 역할이 상당히 작은 것을 나타내고 있다.

그림 6은 실제 300mm 웨이퍼 폴리싱 장비의 전체적인 모습을 보여주는 사진이다. 300mm 웨이퍼 폴리싱 시스템은 크게 정반부분과 헤드부분으로 구분하여 제작되었다. 정반의 주축은 초정밀 볼베어링을, 헤드부는 Spherical Bearing을 이용하여 자유 각운동을 할 수 있도록 적용되었고, Air cylinder를 이용하여 헤드부의 상하이송과 가압 조절을 할 수 있는 방식을 사용하여 설계 되었다.

웨이퍼 폴리싱 가공에 있어서 영향을 주는 요소들은 무수히 많다. 실제로 이러한 요소들이 복합적인

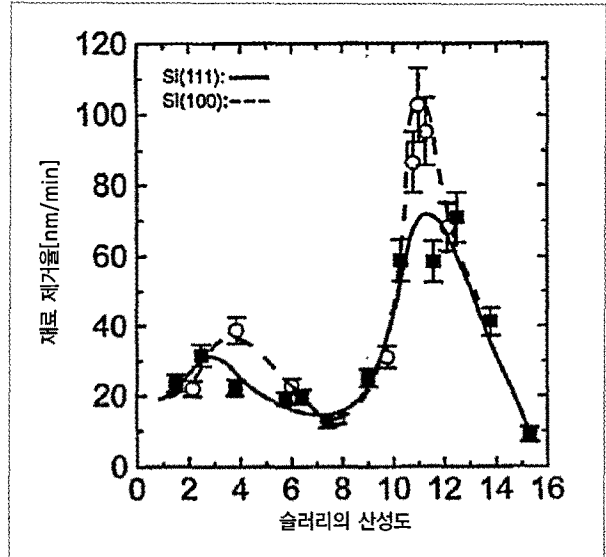


그림 5 슬러리 pH수치에 따른 재료 제거율

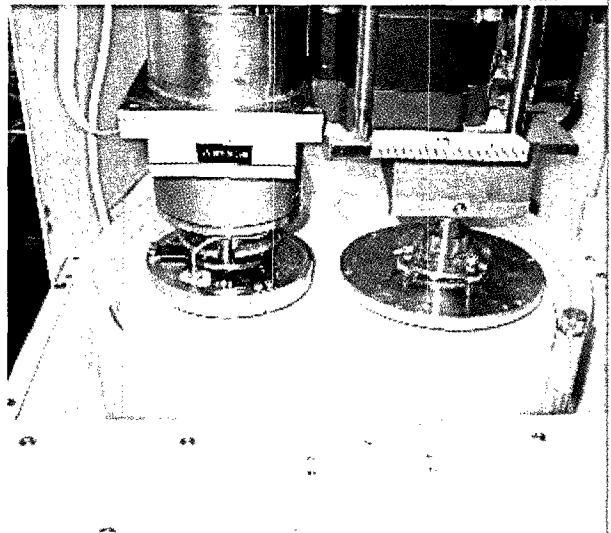
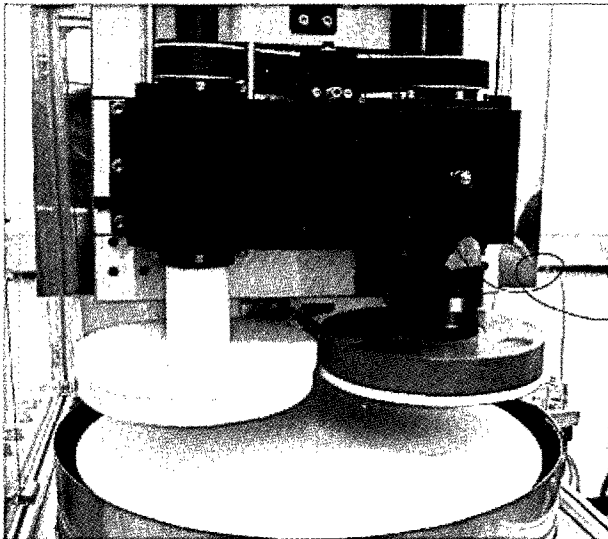


그림 6 웨이퍼 폴리싱 장비

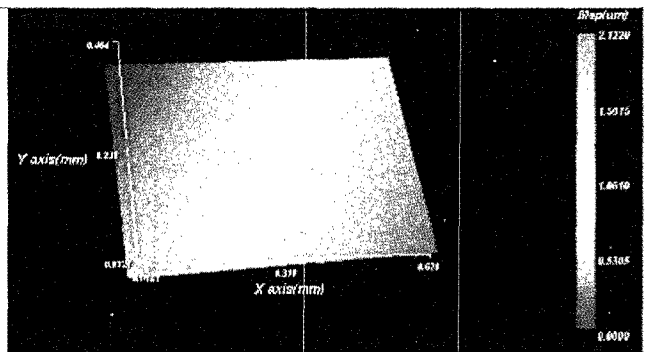
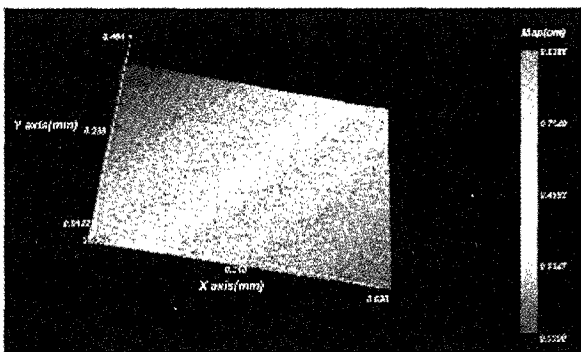


그림 7 웨이퍼 표면 가공 전(좌), 후(우)의 표면상태

작용에 의해 최종 제품의 품질에 영향을 미치고 이러한 각 인자들을 제어하고 적절한 결합에 의해서 최적의 가공 조건을 도출해야 한다.

그림 7은 여러 가지 가공 조건을 적용하여 폴리싱 된 웨이퍼의 표면 중 일부를 측정된 것이다. 측정된 표면 거칠기 값 중 가공전과 후의 비교를 나타내고 있다.

그림 8은 실제 가공된 300mm 웨이퍼의 가공면을 보여주고 있다. 웨이퍼에 가공은 이렇게 거울과 같은 경면을 가공하는 것으로서 그에 의한 각종 불량과 결함을 제거하는 것이 중요하다.

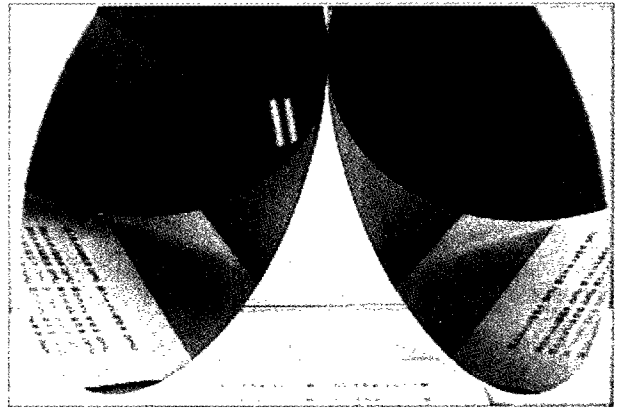


그림 8 웨이퍼 폴리싱 공정 후 경면을 가지고 있는 웨이퍼

### 맺음말

반도체 공정에서 회로의 생성과정에 들어가기 앞서 웨이퍼는 평탄화와 표면특성에서 높은 품위를 가져야 한다. 웨이퍼의 직경이 커질수록 그에 따른 생산성은 증가하며 코스트를 감소시킬 수 있지만, 웨이퍼의 대구경화에 따른 반도체 장비의 더욱 높은 정밀함을 요구하고 있다.

또한 여러 단계의 폴리싱 공정을 초미세 초정밀

최종 폴리싱 공정 한 번으로 완료함으로써 가공시간을 줄이고 생산 비용을 최소화할 수 있다. 뿐만 아니라 여러 단계의 공정에서 발생하는 공정의 복잡성을 줄이면서 표면 평탄도 및 표면 거칠기는 현저하게 개선될 수 있을 것이다.

### 후기

본 집필은 인하대학교 자동차 동력계 부품 지역 혁신센터(RIC) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 기계용어해설

### 탄탈륨(Tantalum)

원소기호 Ta, 강과 비슷한 광택이 나는 금속으로 비중은 16.6이며 산, 알칼리에 침식되지 않고, 전구의 코일선, 도가니, 전극, 내열강의 첨가물 등으로 쓰이는 희유원소의 일종.

### 탭 볼트(Tap Bolt)

죄려고 하는 부분이 두껍거나, 또는 관통 볼트의 머리가 숨겨져서 죄기 곤란할 때 상대편에 직접 암나사를 깎아 너트 없이 죄서 체결하는 볼트. =set bolt

### 접선<탄젠트> 캠(Tangent Cam)

2개의 원호와 그것에 접하는 직선으로 연결한 윤곽의 캠으로, 내연기관의 밸브 기구 등에 널리 쓰이는 평면 캠의 일종.

### 접선 키(Tangent Key)

키 홈을 축의 접선 방향으로 내어 서로 반대 방향의 구배를 가진 2개의 키를 짝지은 것으로, 플라이 휠과 같이 무거운 물건이나 급격한 속도변화가 있는 부분을 강력하게 체결하는 방법의 일종.