

Hot Plate 신뢰성 시험·평가장비 개발

송준엽*, 송창규, 노승국, 박화영(한국기계연구원 자동화연구부)

Reliability Evaluation System of Hot Plate for PR Baking

J. Y. Song, C. K. Song, S. K. Noh, H. Y. Park(Automation Eng. Dept., KIMM)

ABSTRACT

Hot Plate is the major unit that it used to remove damp of wafer surface, to strength adhesion of photoresist(PR) and to bake coated PR in FAB process of semiconductor. It is necessary to guarantee the performance of Hot Plate(HP). Therefore, in this study designed and developed the reliability system of HP to measure and estimated thermal uniformity and flatness in temperature setting amplitude 0~250℃. We developed the techniques that measures and analyzes thermal uniformity using infrared thermal vision, and compensates measuring error of flatness using laser displacement sensor. For measuring flatness, we specially makes the measurement stage of 3 axes which adopts the precision encoder. The allowable error of measuring technique is less than thermal uniformity, $\pm 0.1^\circ\text{C}$ and flatness, $\pm 1\text{mm}$. It is expected that the developed system can measure from $\phi 210(\text{wafer } 8")$ to $\phi 356(\text{wafer } 12")$ and also can be used in performance test of the Cool Plate and industrial heater, etc.

Key Words : Hot Plate(열플레이트), Thermal Uniformity(온도균일도), Flatness(편평도), Infrared Sensor(적외선 열상센서), PR Baking(감광액 배킹), Reliability Evaluation(신뢰성 평가)

1. 서론

반도체 FAB공정 중 마스크 상의 패턴을 웨이퍼 위에 옮기는 광 리소그래피(Optical Lithography)과정에서 산화막을 입힌(Diffusion) 웨이퍼 위에 감광액(Photoresist)을 얇게($1\mu\text{m}$ 정도) 입히는 PR Coating, Baking, 미리 제작한 마스크를 웨이퍼 위에 올려놓고 빛을 쬐이는 Exposure(UV 광도출) 공정이나 단위시스템 등에 필수적으로 구성되는 핵심 유니트가 Fig. 1의 Hot/ Cool Plate이다.

Hot Plate(HP)는 감광액 도포 전후 웨이퍼의 표면의 습기제거, 감광액의 접착력 강화, 도포된 감광액의 열처리 혹은 Baking, 노광시간 단축과 Dry Etch 내성확보 등에 영향을 미쳐 도포 불량현상과 밀접한 관계를 갖는 열처리 유니트이다. 측정대상이 웨이퍼라면 PR(Photoresist) 도포과정인 코팅처리 전후와 빛을 받는 부분의 막을 현상시키는 공정인 Development처리 전후에 PR로 코팅된 웨이퍼 표면을 열처리하는 역할을 한다.

HP는 감광액이나 Photo공정 내에서 거처게 되는 Baking종류, 예를 들면 감광액 도포 전에 웨이퍼 표면에 분자를 결합시키는 Dehydration Bake와

Soft Bake에서 $30\sim 180^\circ\text{C}$ 로 온도설정이 되어 있지만 Post Develop Bake(PDB)과 같이 고온 Bake(200°C 이상)에서 처리되는 경우도 있다. 특히 온도 범위에 따라 온도허용폭(온도정도)이 $0.1\sim 2^\circ\text{C}$ 내에서 0.1°C 단위로 설정되어 있기 때문에 설정온도에서의 온도균일도(Uniformity)는 매우 중요한 성능 변수이다.

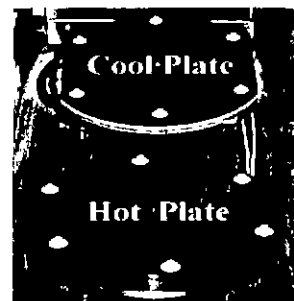


Fig. 1 Hot & Cool Plate

또한 Baking공정에서 웨이퍼와의 접착력에 영향을 미치는 표면의 거칠기, Spin Coating변수인 회

전속도, 감광액 두께 등은 Plate의 편평도에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

최근 반도체 메모리가 256MB 이상으로 가면서부터 CD(Critical Dimension) Control의 중요성이 크게 부각되고 있다. CD의 변화는 여러 가지의 복합요인이 있지만, Hot Plate의 Uniformity를 그 중 하나로 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 Hot 혹은 Cool Plate의 개발 및 양산단계에서 편평도(Flatness) 측정과 열원에 대한 온도균일도(Uniformity)를 성능평가할 수 있는 신뢰도 평가장비 및 측정기술을 개발하였다.

2. HP 신뢰성 평가장비 설계 및 개발

이상 거론한 Bake공정이 실제로 진행되는 오픈은 Convection, Infrared, Hot Plate로 구분되어 각각의 다른 열전달 메커니즘을 가지고 적용되고 있지만 균일하고 잘 제어된 온도와 높은 청결도, Bake 작업온도 도달시간단축(20초 이내) 등의 요구로 최근에는 HP오픈방식을 대부분 채용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 상기 Bake 공정조건, 정도를 수용하는 HP, CP의 성능(신뢰성)을 측정·평가할 수 있는 시스템을 구상하였다. 고안된 시스템은 Bake공정변수 중 Bake온도와 Resist 잔막을, Resist내의 솔벤트 농도(Resist 두께)와의 관계에서 고려되고 있는 온도 설정범위 0~250℃, 온도 측정정도 ±0.1℃ 온도균일도와 ±20μm 이내에서의 편평도를 측정·평가할 수 있도록 설계되었다.

ISO에서 규정한 편평도의 정의는 여러점의 측정점들로 이상적 평면을 구성하고 이상적 평면으로부터의 이격도의 차로 편평도를 결정하도록 되어 있다. 따라서 HP의 편평도를 결정짓기 위해서는 그 표면의 각 점을 삼차원적으로 측정하는 것이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 HP의 표면을 삼차원 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 레이저 변위센서와 정밀 2축 스테이지로 측정장치를 제작하였다.

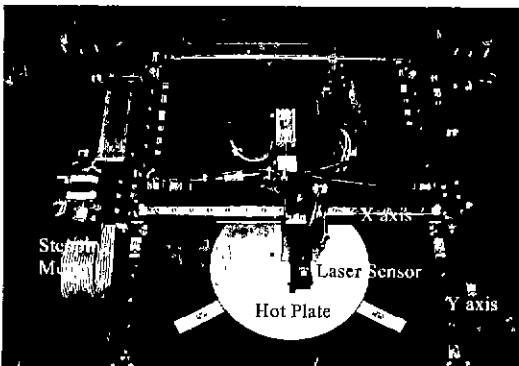


Fig. 2 Hardware system for measurement of flatness

2축 스테이지는 스텝모터와 모션제어보드 및 엔코더로 구성되었으며, 각축의 분해능은 x축이

0.15mm/pulse이며 y축이 0.1mm/pulse이다. 레이저 변위 센서(Keyence LK-010)는 분해능 0.1μm의 고정밀 센서로서 측정범위는 ±1mm, 출력전압 ±10V이다.

HP나 Chiller 등의 0.1℃ 이하 온도 균일도 측정, 평가에 최근 웨이퍼에 RTD(Resistance Temperature Detector)를 여러 포인트에 부착한 RTD 실장 웨이퍼센서를 이용하여 측정하는 방법으로 비교적 정확하게 측정되고 있다. 그러나 이러한 방법은 온도분포의 직접적 원인인 HP 자체의 표면온도 분포는 정확한 측정이 불가능하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비접촉식 열상센서를 이용하여 온도균일도를 측정하는 방법을 시도토록 하였다. 열상센서를 이용하는 경우는 무엇보다 다양한 크기의 측정대상인 HP를 하나의 측정장비에서 시험할 수 있으며 표면 전체의 온도분포를 더욱 정확히 나타낼 수 있는 장점이 있고, HP 표면의 온도를 측정하기 위하여 특별한 센서를 부착하는 공정도 필요 없으므로 많은 개체를 평가하는데 매우 유리하다 할 수 있다.

Fig. 3은 열상센서에 의한 온도균일도 측정원리 개략도로서 본 연구에서는 측정대상의 크기에 따라 가변적으로 측정거리를 조정, 500mm stage up/down이 가능한 장비구조를 고안, 도입시켰다.

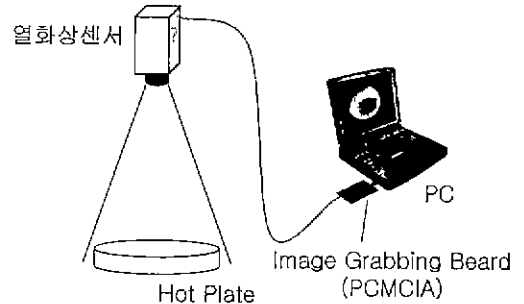


Fig. 3 Temperature measuring principle with IR camera

또한 Emissivity에 의한 열상센서의 영향을 최소화 (Zero Emissivity)시키기 위해 장비의 측정공간 내부를 무광 흑색도색하였다.

이상 고려된 측정과 측정범위, 조건 등을 수용시키며 On-machine 상에서 편평도와 온도균일도를 순차적으로 성능·평가할 수 있도록 고안, 제작된 시스템이 Fig. 4이다.

3. HP 성능인자 평가기술 및 성능분석

3.1 편평도 평가기술

HP의 편평도를 측정하기 위해 고안된 측정스테이지에서 측정영역을 지그재그로 스캐닝하면서 HP의 표면상의 각 점의 높이를 레이저 센서로부터 획득하고, 그 때의 x, y 좌표는 스텝 모터의 펄스 값으로부터

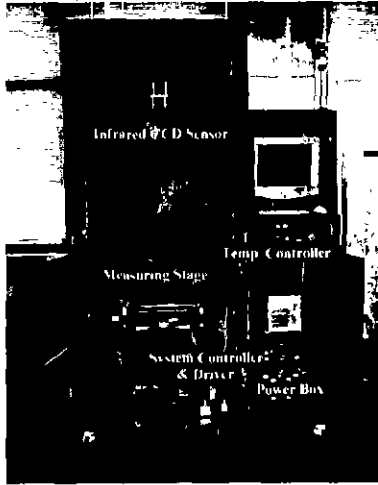


Fig. 4 Reliability Evaluation System of Hot Plate

터 얻는 방법을 채용하였다. 측정범위는 300mm 웨이퍼용 HP에도 적용 가능하다.

상기 방식으로 편평도를 평가하는 방법, 즉 편평도의 계산은 측정점들로부터 이상적 평면을 구성하는 것이 가장 먼저 선행되어야 가능하다. 수학적으로 이상적인 평면의 방정식은 아래 식과 같다.

$$d = a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) \quad (1)$$

식(1)에서 미지수가 a, b, c, d 4개이므로 4점만 있으면 면을 구성할 수 있다. 따라서 측정점이 5점 이상일 때 수학적 기준에 의해 평면을 구성하여야 한다. 일반적으로 수학적 기준으로는 최소자승법(least squares method)이 많이 사용되고 있는데 이 방법은 측정점들을 가장 이상적으로 표현하는 평면을 가정하고 그 이상적 평면과 각 측정점들간의 거리를 오차로 보았을 때 오차를 최소화시키기 위하여 각각의 오차들의 제곱의 합을 최소화하도록 평면을 결정하는 방법이다. 이렇게 이상적 기준평면을 구성하고 나면 이상적 기준평면과 각 측정점간의 거리의 최대편차를 계산하여 편평도를 평가한다.

특히 본 연구에서는 이상의 평가기술을 지원하기 위해 모션제어보드를 통해 하드웨어를 제어하여 측정을 수행하고 측정된 각 점으로부터 HP의 편평도를 평가하는 소프트웨어를 개발하였다. 개발 S/W는 Fig. 5에 보인 것처럼 3차원적으로 측정점을 도시하는 3차원 그래픽 기능이 있다.

3.2 온도균일도(분포) 측정기술

HP의 온도균일도 및 분포를 측정·평가하기 위해 도입한 적외선 열상센서는 일정한 온도를 가진 물체

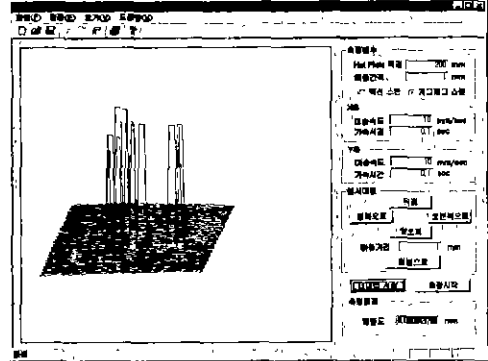


Fig. 5 S/W for measurement & evaluation of flatness

에서 복사되는 적외선을 측정하는 것으로 플랑크 법칙(Planck's Law)에 의해 이상적인 흑체에서 발생하는 에너지 E는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad (2)$$

여기서 c는 광속, h는 Planck 상수, k는 Boltzman 상수, T는 대상체의 절대온도이며 이때 열상센서에서 사용하는 파장의 범위가 λ_{max} 에서 λ_{min} 라던 적외선의 총 복사에너지는 온도함수로 다음과 같다.

$$W(T) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E d\lambda = \int \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad (3)$$

이러한 에너지를 측정하는 IR CCD센서를 매트릭스로 배치하여 일정면적의 온도분포를 측정하는 것이 적외선 열화상 카메라이다. 본 연구에서 사용한 열상센서의 재원은 최대 270,000 point에 대한 온도값과 HP 표면의 온도분포를 0.2℃ 이내로 정밀 측정할 수 있으며, Fig. 4에 제시된 것처럼 PC로 화상 및 온도데이터를 전송 받아 분석할 수 있다. 전송된 정보는 PC의 실시간 측정 및 분석 소프트웨어를 이용하여 온도균일도를 측정, 평가할 수 있도록 하였다. 또한 온도분포는 화상으로 나타낼 수 있으며 임의 설정한 16개 측정점의 온도값 표시하고, 시간에 따른 온도변화 동영상 및 그래프 출력, 온도의 면적분포, 히스토그램 등의 데이터 분석을 통한 온도 특성 분석 등이 가능하게 하였다.

4. 성능평가 실험 및 분석

4.1 HP 편평도 측정실험 및 분석

제작된 편평도 측정 시스템의 유용성을 검증하기

위하여 실제 HP를 대상으로 측정을 수행하였다. 대상 HP는 S社의 8인치 HP이며, 측정간격은 2mm, 측정속도는 7mm/sec, 측정범위는 130mm x 130mm로 정해 측정하였다. Fig. 6은 실제 측정결과이며 HP 내부의 구멍측정점을 필터링한 모습이다. 총 측정시간은 30분이 걸렸으며 측정결과 편평도는 88 μ m를 얻었다.

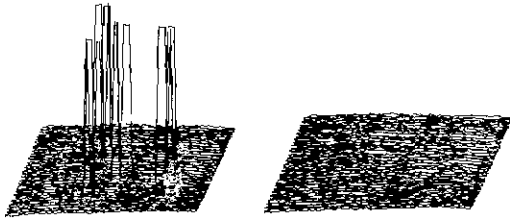


Fig. 6 Measurement result of HP surface before/after filtering

시편을 제공한 HP 제작사의 편평도 검사 기준은 $\pm 20\mu$ m(총 40 μ m)인데 비해 두배 가량의 편평도 오차가 나온 원인을 분석하면 다음과 같다.

- (1) HP 자체의 가공 오차
- (2) 2축 스테이지의 기계 운동 오차
- (3) 레이저 센서의 전기적 노이즈

4.2 HP 온도균일도 측정실험 및 분석

적외선 열상센서를 이용하여 12" 웨이퍼용 HP를 이용하여 온도균일도 측정 실험을 수행하였다. 우선 50 $^{\circ}$ C에서 120 $^{\circ}$ C로 가열하면서 각 온도에서의 온도균일도와 시간의 변화에 따른 온도분포 변화를 나타내었다.

Fig. 7은 120 $^{\circ}$ C로 온도를 설정 후 온도가 충분히 안정된 상태에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 이때 각 측정점의 Emissivity, 0.60~0.66을 보정한 후 및 보정전의 온도 값을 비교하였다. 그 결과 약 1 $^{\circ}$ C 이내의 온도편차를 보이고 있음을 알 수 있었다.

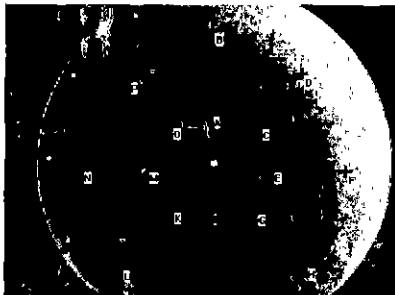


Fig. 7 Temperature distribution at 120 $^{\circ}$ C

또한 열상센서를 통해 10초간의 간격으로 50 $^{\circ}$ C에

서 120 $^{\circ}$ C로 가열되는 동안 10분 동안의 HP 표면의 각 측정점에서의 가열 시간에 따른 응답을 나타낸 것이 Fig. 8이다. 그래프에서 P1..P16은 측정점 A..P를 가리키며 괄호 안은 emissivity를 나타낸다. 또한 그림 내부의 3차원 형상으로 온도분포를 도시하여 시간에 따른 온도변화를 전체적으로 알아보기 쉽게 도시하였다.

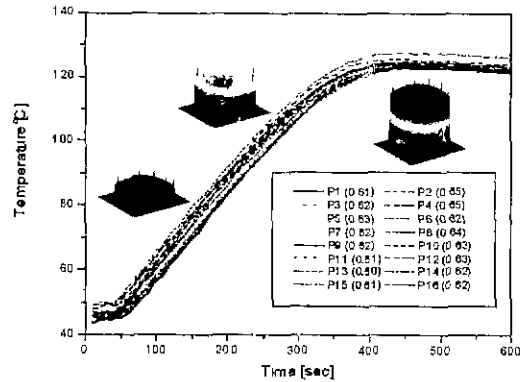


Fig. 8 Transient temperature distribution

결과를 보면 초기의 온도차가 대체로 그대로 유지되고 있음을 알 수 있으며 온도제어특성으로는 설정된 응답에서 약 2 $^{\circ}$ C의 과도응답(overshoot)이 발생하는 것을 알 수 있어 온도 제어특성을 확인할 수 있었다. 또한 정확한 온도값 도출을 위하여 접촉식 온도를 통한 Emissivity 보정을 수행하였다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 일차적으로 12" 웨이퍼용까지 수용할 수 있는 Hot & Cool Plate의 성능인자, 편평도, 온도균일도를 측정, 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발시스템을 이용한 신뢰성 시험과 시뮬레이션에 의한 성능해석이 보완적으로 지원될 수 있기 때문에 제품개발에 따른 시행착오의 최소화, 국산품에 대한 품질보증적 지원 및 사전테스트 측면 등에서 활용성을 기대할 수 있다.

향후에는 반도체 공정 외의 산업용 Heater류의 성능평가에도 활용할 예정이며, 개발한 기술은 반도체 PR Coating, Baking, Developing공정을 연계시키는 Track시스템 개발연구로 발전시킬 계획이다.

참고문헌

1. International Standard, ISO 230-1:1996(E) second edition.
2. 박화영 외, "반도체 장비 핵심부품의 종합 신뢰성 평가시스템 개발", 한국기계연구원, 2000. 12