

Hot Plate 신뢰성 시험·평가시스템 개발

송준엽*, 송창규*, 노승국*, 박화영*

Reliability Evaluation System of Hot Plate for Photoresist Baking

Jun Yeob Song*, Chang Kyu Song*, Seung Kook Roh*, Hwa Young Park*

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. The badness of Hot Plate (HP) has directly influence upon the performance of wafer, it is necessary to guarantee the performance of HP. In this study, a reliability evaluation system has been designed and developed, which is to measure and to estimate thermal uniformity and flatness of HP in range of temperature 0~250°C. This system has included the techniques which measures and analyzes thermal uniformity using infrared thermal vision, and which compensates measuring error of flatness using laser displacement sensor. For measuring flatness, a measurement stage of 3 axes are developed which adapts the precision encoder. The allowable error of this system in respect of thermal uniformity is less than $\pm 0.1^\circ\text{C}$ and in respect of flatness is less than $\pm 1\text{mm}$. It is expected that the developed system can measure from $\Phi 200\text{mm}$ (wafer 8") to $\Phi 300\text{mm}$ (wafer 12") and also can be used in performance test of the Cool Plate and industrial heater, etc.

Key Words : Hot Plate(열판), Thermal Uniformity(온도균일도), Flatness(편평도), Infrared Sensor(적외선 열상센서), Photoresist Baking(감광액 베이킹), Reliability Evaluation(신뢰성 평가)

1. 서론

반도체 FAB공정은 Fig. 1에 제시된 것처럼 마스크 상의 패턴을 웨이퍼 위에 옮기는 광 리소그래피(Optical Lithography)과정에서 산화막을 입힌(Diffusion) 웨이퍼 위에 감광액(Photoresist)을 얇게(수 μm 정도) 입히는 감광액 코팅(PR Coating), 베이킹(Baking), 미리 제작한 마스크를 웨이퍼 위에 올려 놓고 빛을 쬐이는 UV 광도출(Exposure) 공정, 빛에 노출된 레지스트를 제거하여 패턴을 만들어 내는 현상(Developer)공정, 감광액 위에 현상된 패턴에

따라서 산화막을 제거하는 식각(Etching) 및 세정공정으로 이루어지는데 이러한 과정은 대개 여러 번 반복되면서 마스크 패턴을 형성시키게 된다. 상기 FAB공정 중에서 베이킹, 노광공정이나 단위시스템 등에 필수적으로 구성되는 핵심 유니트가 Fig. 2의 열판(Hot Plate : HP)/냉각판(Cool Plate : CP)이다.

HP는 감광액 도포 전후 웨이퍼의 표면의 습기 제거, 감광액의 접착력 강화, 도포된 감광액의 열처리 혹은 베이킹, 노광시간 단축과 건식에칭(Dry Etch) 내성확보 등에 영향을 미쳐 도포 불량현상과 밀접한 관계를 갖는 열처리 유니트이다. 측정대상

* 2002년 1월 14일 접수
* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

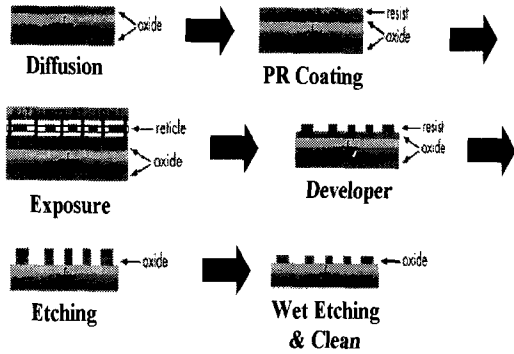


Fig. 1 Optical lithography process

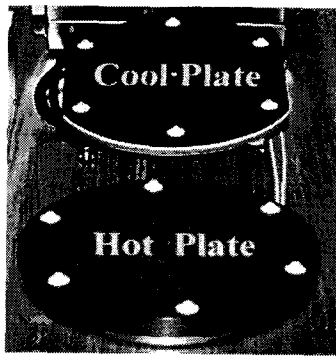


Fig. 2 Hot & Cool Plate

이 웨이퍼라면 감광액 도포과정인 코팅처리 전후와 빛을 받는 부분의 막을 현상시키는 공정전후에 감광액으로 코팅된 웨이퍼 표면의 열처리하는 역할을 한다¹⁾. HP는 감광액이나 포토공정 내에서 거치게 되는 베이킹 종류, 예를 들면 감광액 도포 전에 웨이퍼 표면에 분자를 결합시키는 탈수(Dehydration) 베이킹과 소프트(Soft) 베이킹에서 30~180℃로 온도설정이 되어 있지만 포스트 현상 베이킹(Post Develop Baking : PDB)와 같이 고온 베이킹(200℃ 이상)에서 처리되는 경우도 있다.

특히 온도범위에 따라 온도허용폭(온도정도)이 0.1~2℃ 내에서 0.1℃ 단위로 설정되어 있기 때문에 설정온도에서의 온도균일도(Uniformity)는 매우 중요한 성능변수이다²⁾.

또한 베이킹 공정에서 웨이퍼와의 접촉력에 영향을 미치는 표면의 거칠기, 스핀코팅(Spin Coating) 변수인 회전속도, 감광액 두께 등은 플레이트의 편

평도에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

최근 반도체 메모리가 256MB 이상으로 가면 서부터 CD(Critical Dimension) 제어의 중요성이 크게 부각되고 있다. CD의 변화는 여러 가지의 복합요인이 있지만, HP의 온도균일도를 그 중 하나로 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 HP 혹은 CP의 개발 및 양산단계에서 편평도 측정과 열원에 대한 온도균일도를 성능 평가할 수 있는 신뢰성 평가장비 및 측정기술을 개발코자 한다.

이제까지 반도체분야에서 신뢰성기술의 도입은 주로 반도체디바이스를 중심으로 하여 기능을 평가 대상으로 한 품질평가(Qualification approval)와 제조상의 공정능력검증(Process approval) 차원에서 이루어지고 있다³⁾⁴⁾. 그러나 반도체 공정장비의 핵심 부품이나 유니트에 대한 평가는 전무한 상태이며, 시스템으로 구성된 후엔 성능평가가 실시되거나 특수한 경우 메이커의 성적서에 의존하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 기계류·부품에 대한 신뢰성 평가기술이나 시험기 개발에 착수하고 있는 단계에 즈음하여 본 연구에서도 반도체 핵심장비용 부품에 대한 신뢰성 평가기술을 도입시키고자 한다.

2. HP 신뢰성 평가장비 설계 및 제작

이상 거론한 베이킹 공정이 실제로 진행되는 으로는 대류(Convection), 적외선(Infrared), HP로 구분되어 각각의 다른 열전달 메커니즘을 가지고 적용되고 있지만 균일하고 잘 제어된 온도와 높은 청결도, 베이킹 작업온도 도달시간단축(20초 이내) 등의 요구로 최근에는 HP오븐방식을 대부분 채용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 상기 베이킹 공정조건, 정도를 수용하는 HP, CP의 성능(신뢰성)을 측정·평가할 수 있는 시스템을 구상하였다. 고안된 시스템은 베이킹 공정변수 중 온도와 레지스트 잔막을, 레지스트 내의 솔벤트 농도(레지스트 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 정의⁵⁾는 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. 3과 같이 레이저 변위센서와 정밀 2축 스테이지로 측정장치를 제작하였다.

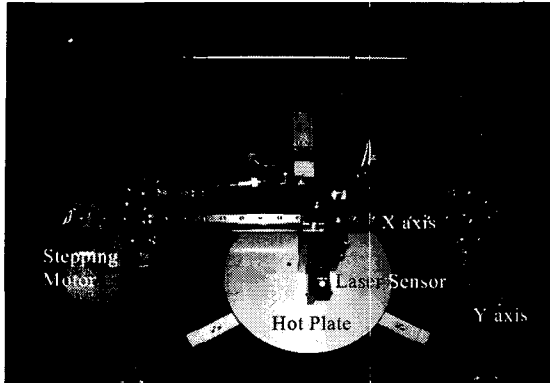


Fig. 3 Hardware system for measurement of flatness

2축 스테이지는 스텝핑 모터와 모션제어보드 및 엔코더로 구성되었으며, 각축의 분해능은 x축이 0.15mm/pulse이며 y축이 0.1mm/pulse이다. 레이저 변위 센서(Keyence LK-010)는 분해능 0.1 μ m의 고정밀 센서로서 측정범위는 ± 1 mm, 출력전압 ± 10 V이다.

HP나 칠러(Chiller) 등의 0.1 $^{\circ}$ C 이하 온도 균일도 측정, 평가에 최근 웨이퍼에 RTD(Resistance Temperature Detector)를 여러 포인트에 부착한 RTD 실장 웨이퍼센서를 이용하여 측정하는 방법⁶⁾으로 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 있다⁷⁾.

Fig. 4는 열상센서에 의한 온도균일도 측정원리 개략도로서 본 연구에서는 측정대상의 크기(200~300mm)에 따라 가변적으로 측정거리를 조정할 수

있도록 센서고정부가, 500mm up/down이 가능한 구조로 장비기구부를 고안, 설계하게 되었다.

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

이상 고려된 특징과 측정범위, 조건 등을 수용시키며 온 머신(On-machine) 상에서 편평도와 온도 균일도를 순차적으로 성능-평가할 수 있도록 고안, 제작된 시스템이 Fig. 5이다⁸⁾.

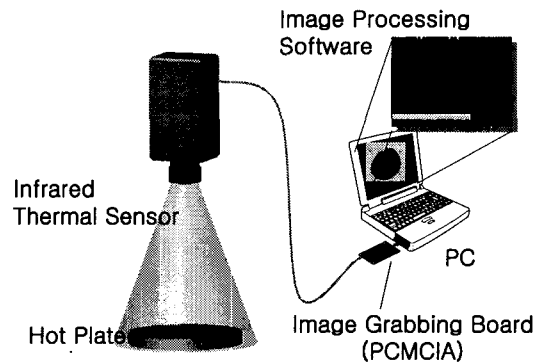


Fig. 4 Temperature measuring principle with IR camera

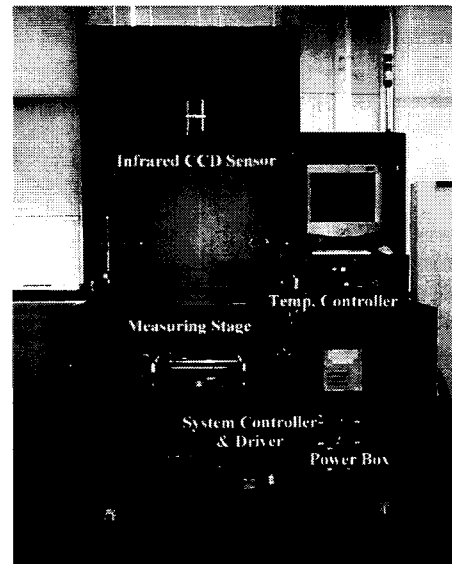


Fig. 5 Reliability Evaluation System of Hot Plate

3. HP 성능인자 평가 및 측정기술

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

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

$$z = ax + by + c \quad (1)$$

(1)에서 미지수가 a, b, c의 3개이므로 3점만 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 방법^(10),11)이다. 즉 측정점들의 집합을 (x_i, y_i) ($i = 1, \dots, n$)이라 하면 식(1)에서 이상적인 면과 측정점과의 오차 e_i 는 다음 식으로 표현된다.

$$e_i = z - ax_i - by_i - c \quad (2)$$

오차의 제곱의 합을 SSE(sum of squares error)라고 하면 SSE는 아래 식으로 표현된다.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i - z_i + c)^2 \quad (3)$$

(3)식을 구하고자 하는 미지수인 a, b, c에 대해 각각 편미분한 것이 영일 때 SSE는 최소값이 된다. 따라서

$$\frac{\partial SSE}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial SSE}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial SSE}{\partial c} = 0 \quad (4)$$

의 3원방정식을 풀면 이상적인 평면을 구성하는 식(1)의 매개변수 a, b, c를 구할 수 있다. 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^(8),9). 개발 S/W는 Fig. 6에 보인 것처럼 3차원적으로 측정점을 도시하는 3차원 그래픽 기능이 있다.

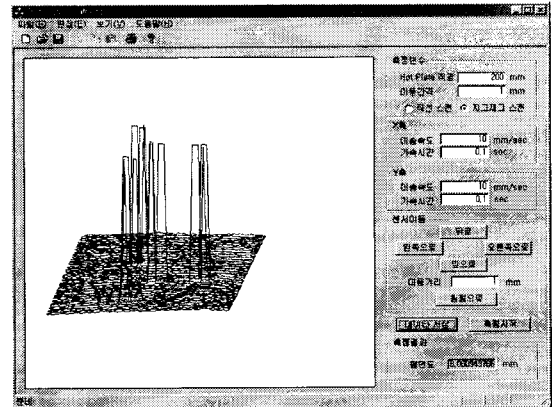


Fig. 6 S/W for measurement & evaluation of flatness

3.2 온도균일도(분포) 측정기술

HP의 온도균일도 및 분포를 측정·평가하기 위해 도입한 적외선 열상센서는 일정한 온도를 가진 물체에서 복사되는 적외선을 측정하는 것으로 플랑크 법칙(Planck's Law)에 의해 이상적인 흑체에서 발생하는 에너지 E는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

$$W(T) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} E d\lambda = \int \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{ch/\lambda T} - 1} d\lambda \quad (6)$$

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 16개 측정점의 온도값 표시하고, 시간에 따른 온도변화 동영상 및 그래프 출력, 온도의 면적분포, 히스토그램 등의 데이터 분석을 통한 온도 특성분석 등이 가능하게 하였다.

4. 성능평가 실험 및 분석

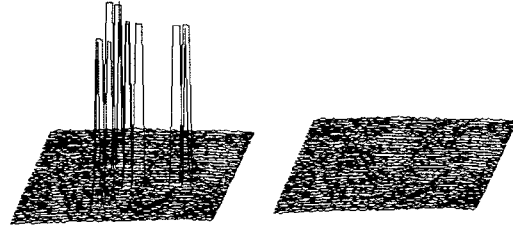
4.1 Hot plate 편평도 측정실험 및 분석

제작된 편평도 측정 시스템의 유용성을 검증하기 위하여 실제 HP를 대상으로 측정을 수행하였다. 대상 HP는 S社의 200mm 시제품으로서 측정간격은 2mm, 측정속도는 7mm/sec, 측정범위는 130mm x 130mm로 정해 일차적으로 측정하였다. Fig. 7은 측정된 결과로서 HP 내부의 구멍측정점을 필터링한 후의 결과이다⁸⁾. 총 측정시간은 30분이 소요되었으며, 측정결과 편평도는 88μm를 얻었다.

이상의 결과에서 보면 시편을 제공한 HP 제작사의 편평도 검사 기준은 ±20μm인데 비해 2배 가량의 편평도 오차가 나온 원인을 분석하면 다음과 같다.

- (1) HP 자체의 가공오차
- (2) 2축 스테이지의 기계 운동오차
- (3) 레이저 센서의 직선성 오차
- (4) 측정 스테이지의 편평도 오차

상기 오차원인 중 (2)~(4)항의 오차는 시스템 성능을 좌우하는 인자로서 검증을 통한 최소화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 마스터 플레이트(가공오차 : 2μm)를 제작하여 (2)~(4)항의 고유오차



(a) Before filtering (b) After filtering

Fig. 7 Measurement result of hot plate surface before/after filtering

를 측정하였다. 그 결과, 스테이지의 운동오차는 10 μm 내외, 센서의 직선성 오차는 최대 5μm 정도인 것을 확인하였으며, 측정스테이지의 편평도에 대해서는 HP의 기준점으로부터 분할 회전시키면서 특정점에서의 측정실험을 실시하였다. 그 결과가 Fig. 8로서 상대오차가 20μm 정도 내재되어 있는 것이 검증되었다. 그러나 이러한 오차범위를 감안하여도 제공된 시편의 편평도 오차는 검사기준을 상회하는 것으로 볼 수 있었다.

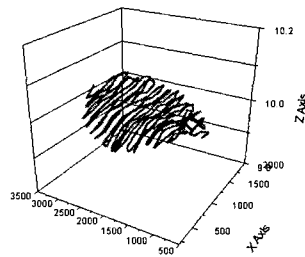


Fig. 8 Flatness error of base Stage

4.2 Hot plate 온도균일도 측정실험 및 분석

본 연구에서는 적외선 열상센서를 이용하여 300mm 웨이퍼용 HP를 대상으로 온도균일도 측정 실험을 수행하였다. 측정실험은 1) 120℃의 안정화된 상태에서의 온도균일도, 2) 자연냉각 중의 특정 온도분포, 3) 가열특성에 대해 실시하였다. 가열특성실험은 50℃에서 120℃로 가열하면서 각 온도에서

서의 온도균일도와 시간의 변화에 따른 온도분포 변화를 분석하여 보았다. 특히 본 실험에는 접촉식 온도계를 사용하여 16개 각 측정점에서의 방사율을 산출해 놓아 측정결과에 대해서 상대분포와 절대값의 온도보정을 수행하였다.

4.2.1 정상상태의 온도균일도 실험

Fig. 9는 120℃로 온도를 설정 후 온도가 충분히 안정된 상태에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 이때 각 측정점의 방사율을 보정한 후의 온도 값을 나타낸 것이 Table 1에 나타나 있는데, 약 1℃ 이내의 온도편차를 보이고 있음을 알 수 있다⁷⁾.

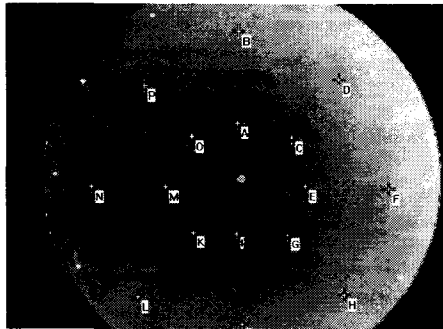


Fig. 9 Temperature distribution at 120℃

Table 1 Measured Temperature at 120℃

	Emissivity	Measurement Temperature (℃)		Emissivity	Measurement Temperature (℃)
A	0.61	122.6	I	0.62	121.7
B	0.65	121.8	J	0.63	122.5
C	0.62	122.7	K	0.61	122.0
D	0.65	122.3	L	0.63	121.7
E	0.63	121.5	M	0.60	122.3
F	0.66	121.7	N	0.62	122.1
G	0.62	122.2	O	0.61	122.4
H	0.64	122.6	P	0.62	122.4

4.2.2 온도변화에 따른 온도분포 실험

HP의 온도가 변하는 중의 온도분포를 측정하기 위하여 가열 후 자연냉각 중에 온도가 110℃에 도달하는 시점에서 온도분포를 측정 실험하였다. 그

결과가 Fig. 10이다. 이 경우에는 Table 2에 제시된 것처럼 정상상태에서의 온도분포보다는 약간 큰 1.5℃ 정도의 온도편차를 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 측정에 사용된 시편이 검사기준 2℃ 편차범위 내에 들어오기 때문에 성능을 만족시키고 있다고 할 수 있다.

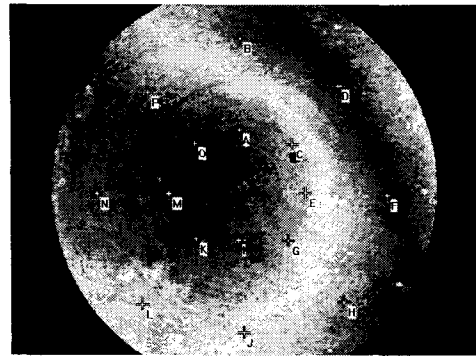


Fig. 10 Temperature distribution at 110℃

Table 2 Measured Temperature at 110℃

	Emissivity	Measurement Temperature (℃)		Emissivity	Measurement Temperature (℃)
A	0.61	116.3	I	0.62	115.1
B	0.65	115.0	J	0.63	115.3
C	0.62	116.4	K	0.61	115.7
D	0.65	115.4	L	0.63	114.9
E	0.63	115.3	M	0.60	115.8
F	0.66	114.8	N	0.62	115.0
G	0.62	115.8	O	0.61	115.4
H	0.64	115.4	P	0.62	115.2

4.2.3 가열특성 실험

열상센서를 통해 10초간의 간격으로 50℃에서 120℃로 가열되는 동안 10분 동안의 HP 표면의 각 측정점에서의 가열 시간에 따른 응답을 나타낸 것이 Fig. 11에 나타나 있다. 그래프에서 P1..P16은 측정점 A..P를 가르키며 괄호 안은 방사율을 나타낸다. 또한 그림 내부의 3차원 형상으로 온도분포를 도시하여 시간에 따른 온도변화를 전체적으로 알아보기 쉽게 도시하였다.

결과를 보면 초기의 온도차가 대체로 그대로 유지되고 있음을 알 수 있으며 온도제어특성으로는 설정된 응답에서 약 2℃의 과도응답(overshoot)이 발생하는 것을 알 수 있어 온도 제어특성을 확인할 수 있다.

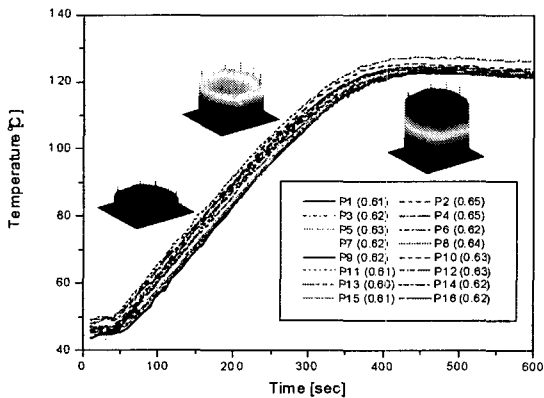


Fig. 11 Transient temperature distribution

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 일차적으로 300mm 웨이퍼용까지 수용할 수 있는 HP 및 CP의 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.

한편 측정스테이지의 편평도와 운동오차를 최소화하는 연구가 보완된다면 향후에는 반도체 공정 외의 산업용 히터류의 성능평가에도 활용할 예정이며, 개발한 기술은 반도체 감광액 코팅, 베이킹, 현상공정을 연계시키는 트랙시스템(Track Stsrem) 개발연구와 유한체적법에 의한 온도분포 해석기술로 발전시킬 계획이다.

참고문헌

1. 前田和夫(임종성 譯), "반도체 제조장치 입문,"

성안당, 2000.

2. "반도체-공정 및 측정," 전자자료, 1986.
3. 安食桓雄, 松下電子(주), "半導體デバイスの信頼性技術," 日科技連, 1998.
4. 日本信頼性學會, "21世紀への技術-信頼性ハンドブック," 日科技連, 1997.
5. International Standard, ISO 230-1:1996(E) second edition.
6. Thermal-Track RTD System - Wafer Sensor Manual, SensArray Corp., 2000. 8.
7. Thermal Vision LAIRD-S270 Operation Manual, Nikon, 2000.
8. 박화영 외, "반도체 장비 핵심부품의 종합 신뢰성 평가시스템 개발," 한국기계연구원, 2000. 12.
9. 송준엽, 송창규, 노승국, 박화영, "Hot Plate 신뢰성 시험-평가장비 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 566-569, 2001.
10. 김승우, "기하공차의 평가를 위한 형상추출 알고리즘," 대한기계학회지, 통권160, pp. 177-184, 1994.
11. 박문진, 김강, "가공경로가 밀링가공면의 기하학적 특성에 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제 15권, 제6호, pp. 58-63, 1998.