

고속 열처리 시스템에서 웨이퍼 상의 다중점 계측에 의한 온도 분포 추정 기법 연구

論 文

49D-2-2

A Prediction Method of Temperature Distribution on the Wafer in a Rapid Thermal Process System with Multipoint Sensing

沈映兌*·李錫舟**·閔丙朝***·趙瑛朝***·金鶴培§
(Yeungtae Shim · Seok-Joo Yi · Byungjo Min · Young-Jo Cho · Hagbae Kim)

Abstract - The uniformity of temperature on a wafer is one of the most important parameters to control the RTP (Rapid Thermal Process) with proper input signals. Since it is impossible to achieve the uniformity of temperature without exact estimation of temperature at all points on the wafer, the difficulty of understanding internal dynamics and structural complexities of the RTP is a primary obstacle to accurately measure the distributed temperatures on the wafer. Furthermore, it is also hard to accomplish desirable estimation because only few pyrometers have been commonly available in the general equipments. In the paper, a thermal model based on the chamber geometry of the AST SHS200 RTP system is developed to effectively control the thermal uniformity on the wafer. First of all, the estimation method of one-point measurement is developed, which is properly extended to the case of multi-point measurements. This thermal model is validated through certain simulation and experiments. The work can be usefully contributed to building a run-by-run or a real-time controls of the RTP.

Key Words : RTP(Rapid Thermal Process), Thermal Modeling, Temperature Estimation, Chamber Geometry, Run-by-Run control

1. 서 론

최근 램프 가열방식에 의한 고속 열처리 공정(RTP)을 이용한 공정기법이 주문생산 반도체(ASIC) 등의 다품종 소량 생산 라인뿐만 아니라 고집적 메모리 소자(1G 이상)의 생산에 있어서 그 중요성이 크게 주목받고 있다. RTP 시스템은 램프에 의한 열과 공정 가스를 이용하여 다양한 운용형태의 열처리를 수행한다. 일반적으로 공정 온도범위는 보통 600~1000 °C이며 최대 1400 °C까지 가능하다. 이 장비는 저압과 대기압과 비슷한 압력에서도 단일 웨이퍼 공정을 수행할 수 있으며 담금질(annealing), 클리닝(cleaning), 산화(oxidation), 화학적 증기 증착(Chemical Vapor Deposition, CVD), 질화(nitridation), 에피 성장(epitaxial growth)등에 이용되며 실리콘 공정 중 각종 불순물 이온의 주입 후 결합 제거와 활성화, 다결정 실리콘에 주입된 이온의 활성화, 실리콘사이드의 형성과 열처리, 알루미늄을 비롯한 금속 박막의 열처리 및 형성에 사용될 수 있다[1].

RTP 장비의 개발이 오래전부터 이루어졌음에도 불구하고 광범위하게 사용되지 않았던 것은 웨이퍼내의 온도 균일

도가 기존의 노(furnace)보다 좋지 않았고 생산성에서도 노 방식과 비교가 될 수 없었기 때문이다. 따라서 웨이퍼내의 온도 균일도(uniformity)를 확보하는 것은 RTP 장비에 있어서 매우 중요한 제어 요소이며 온도의 균일도를 높이기 위해서는 웨이퍼의 각 지점에 대한 정확한 온도 계측이 필수적으로 선행되어야 한다[2]. 일반적으로 RTP 시스템에서의 온도계측은 웨이퍼에 열전대(thermocouple)를 부착하거나 고온계(pyrometer)를 통해 이루어진다. 고온계는 웨이퍼 표면으로부터 방사된 방사열을 이용하여 특정 파장 대역 내의 복사 에너지만을 전달받아서 방사강도(radiant intensity)를 온도로 변환시킨다. 주로 300 °C이하의 온도의 측정엔 열전대를 이용하며 그 이상의 고온에서는 고온계를 이용한다[3].

그러나 대부분의 RTP 장비에서 중앙에 한 개의 고온계만이 설치되어 있어서 정확한 계측이 불가능하며 따라서 온도를 추정하는 기법이 필요하게 된다. 또한 여러 개의 고온계가 설치되어 있을 때 또한 불균형하게 측정된 값들로부터 정확한 웨이퍼상의 온도분포를 추정하는 기법도 아울러 개발이 되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 선대칭 형태의 램프에 대하여 임의의 단일점 온도 계측에 의한 웨이퍼 온도 추정기법을 개발하고 이를 바탕으로 공정종료 후가 아닌 진행중에 in-situ 센싱에 의한 on-line 케환제어를 가능하게 하고 적절한 계산시간을 갖는 다원점 온도계측에 의한 온도 추정기법을 개발하여 시뮬레이션을 통하여 그 유용성을 확인하는 것을 주된 내용으로 한다.

* 正 會 員 : 延世大 工大 電氣·컴퓨터工學科 碩士課程

** 正 會 員 : KIST 知能制御研究센터 博士後 研究員

*** 正 會 員 : 延世大 工大 電氣·컴퓨터工學科 碩士課程

§ 正 會 員 : KIST 知能制御研究센터 責任研究員

§§ 正 會 員 : 延世大 工大 電氣·컴퓨터工學科 教授

接受日字 : 1999年 10月 4日

最終完了 : 2000年 1月 10日

2. 웨이퍼 상의 온도분포 추정

본 연구에서는 연구소에 보유중인 AST SHS200MA RTP 시스템을 모델로 하였다. 이 시스템은 그림 1과 같이 동일한 높이의 직선 형태의 텅스텐-할로젠 램프를 열원으로 각각 n개의 램프가 웨이퍼의 윗면과 아랫면에서 웨이퍼를 가열하는 모델이다. 램프가 직선형이므로 이 경우에는 원통좌표계보다 직교좌표계를 사용하는 것이 유리하다.

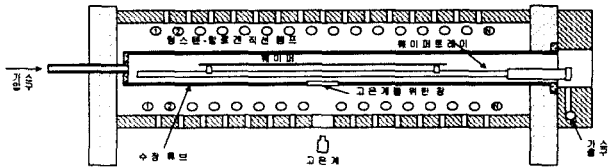


그림 1 AST SHS200MA RTP 시스템의 공정실 개요도
Fig. 1 Chamber schematics of AST SHS200MA RTP system

2.1 이차원 열전도 방정식

우선 웨이퍼상의 온도 분포 추정을 위해서 웨이퍼 내의 열속 (heat flux)을 직교좌표계의 x, y, z 방향으로 표현해본다. 미소 체적소 $\Delta x \Delta y \Delta z$ 를 정의하면 에너지 보존법칙에 의해 다음과 같이 정리된다.

$$\left(\begin{array}{l} \text{체적소 } \Delta x \Delta y \Delta z \text{ 내부에서} \\ \text{생성된 열 에너지율} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{체적소 } \Delta x \Delta y \Delta z \text{로} \\ \text{입사된 전체 열 흐름율} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{체적소 } \Delta x \Delta y \Delta z \text{의} \\ \text{내부 에너지 증가율} \end{array} \right) \quad (1)$$

웨이퍼 내에서 발생된 에너지가 없기 때문에 체적소 $\Delta x \Delta y \Delta z$ 내부에서 생성된 에너지율은 0이 되고 체적소 전도, 대류와 복사에 의해서 $\Delta x \Delta y \Delta z$ 로 입사된 전체 열 흐름율은 체적소 $\Delta x \Delta y \Delta z$ 의 내부 에너지 증가율과 같게 된다. 대류에 의한 열전달은 공정에 따라 다르고 웨이퍼에 미치는 영향이 상대적으로 적기 때문에 이 논문에서는 고려를 하지 않았다. 따라서 전도에 의해 흡수한 열 흐름율 (rate of heat flow)을 Q_c , 복사에 의해 흡수한 열흐름율을 Q_r , 그리고 체적소의 질량을 m , 웨이퍼의 밀도를 ρ_w , 체적소의 비열을 c_w 라 하면 $Q_c + Q_r = mc_w \frac{\partial T}{\partial t}$ 가 되고, $m = \Delta x \Delta y \Delta z \rho_w$ 와 같이 되므로 (2)와 같은 식이 성립되게 된다.

$$\Delta x \Delta y \Delta z \left(-\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} + q_{rad} \right) = \Delta x \Delta y \Delta z \rho_w c_w \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

웨이퍼내의 열전도율이 일정하다고 가정하고 T 를 웨이퍼의 온도, k 를 열전도율, 그리고 q_{rad} 를 단위체적당 전달받은 복사에너지 (radiative energy)라 하면 x, y, z 방향으로의 열속 요소인 q_x, q_y, q_z 의 연관관계는 (3)과 같이 주어진다.

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, \quad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}, \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3)$$

그리고 (2)에서 $\Delta x \Delta y \Delta z$ 를 소거하고 (3)을 대입하면 아래와 같은 (4)가 유도된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_{rad} = \rho_w c_w \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

이때 열원에 대하여 웨이퍼내의 열적평형상태에 도달하였다고 보면 (4)의 우변은 0이 된다. 또한 (4)에서 웨이퍼의 두께는 직경에 비해 매우 작으므로 z 축으로의 온도변화를 무시할 수 있으므로 좌표 (x, y) 에 대한 이차원 열전도 방정식은 결국 (5)와 같이 주어진다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{q_{rad}}{k} = 0 \quad (5)$$

이 때, 복사에너지 q_{rad} 는 (6)과 같이 주어진다.

$$q_{rad} = \alpha_w \Phi - \epsilon_w \sigma T^4 \quad (6)$$

여기서, ϵ_w 는 웨이퍼의 방사율 (emissivity), σ 는 스테판-볼츠만 상수, α_w 는 웨이퍼의 흡수율 (absorptivity), 그리고 Φ 는 램프에 의한 복사력 (radiative power)을 각각 나타낸다[4]. RTP 시스템에서는 일반적으로 텅스텐-할로젠 램프를 이용하여 복사에너지를 웨이퍼에 전달한다. 이러한 경우 웨이퍼 표면에 전달되는 방사 전력은 램프에 의해 직접 전달되는 일차적인 방사 전력과 반사판에 반사되어 재 흡수되는 이차적인 방사 전력으로 나누어지게 된다.

2.2 램프에 의한 1차 방사전력

SHS200MA RTP 시스템 (AST Elektronik GmbH, Germany)는 직선 형태의 텅스텐-할로젠 램프를 열원으로 사용하며 각각 17개의 램프가 웨이퍼의 위와 아래에서 웨이퍼를 가열하며 램프와 공정실은 압축공기와 냉각수로 냉각된다. RTP 장비에 따라서 여러 가지 형태의 램프가 사용되고 있으나 SHS200MA RTP에서 사용되고 있는 직선형 램프의 구조를 모델로 한다.

이에 대한 개념적인 구조도는 그림 2에 잘 나타나 있다.

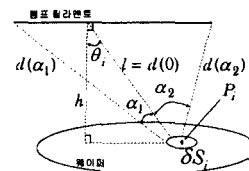


그림 2 램프 필라멘트와 램프간의 기하학적 관계
Fig. 2 Geometrical arrangement between filament and wafer

미소표면 δS_i 를 잡고, 직선 램프의 양단에 대한 각도를 각각 α_1, α_2, I 를 램프의 방사강도(source radiant intensity), h 를 웨이퍼와 램프의 최단거리, d 를 두 표면 사이의 거리라고 각각 정의하면 램프에 의한 1차 방사 전력은 (7)과 같은 식이 된다[5].

$$\phi_1 = \frac{Ih\delta S_i}{l^3} \int_{-\alpha_1}^{\alpha_2} \cos^3 \alpha d\alpha = \frac{Ih\delta S_i}{l^3} \left[\sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_{-\alpha_1}^{\alpha_2} \quad (7)$$

2.3 가상 영상에 의해 재 흡수된 2차 방사 전력

온도가 증가하면 웨이퍼에서 나오는 복사열이 많아져서 웨이퍼 자체도 하나의 열원의 구실을 하게 된다. 이렇게 웨이퍼에서 나온 빛은 반사판에 의해 가상의 영상을 갖게 된다. 이 때, (ρ, φ) 를 미소표면 δS_e 의 중심점 P_i 에 대한 극좌표, (ρ_0, φ_0) 를 웨이퍼상의 미소표면에 대한 가상영상의 극좌표, H 를 반사판의 높이라고 각각 정의하면, $\delta S_e = \rho d\rho d\varphi$ 와 같이 재정의할 수 있고, 따라서 가상 영상에 의해 재흡수된 이차 방사전력은 (8)과 같은 2차 적분식에 의해 계산할 수 있게 된다[5].

$$\phi_2 = \delta S_e L H^2 \int_0^{2\pi} \int_0^R \frac{\rho}{H^2 + (\rho \sin \varphi - \rho_0 \sin \varphi_0)^2 + (\rho \cos \varphi - \rho_0 \cos \varphi_0)^2} d\rho d\varphi \quad (8)$$

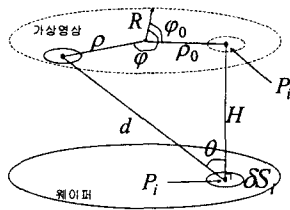


그림 3 웨이퍼와 가상 영상과의 기하학적 관계
Fig. 3 Geometrical arrangement between reflexed radiation and wafer

결국 $\phi = \phi_1 + \phi_2$ 로 (6)에 대입하여 웨이퍼상의 온도분포를 용이하게 구할 수 있게 된다.

2.4 열전도 방정식의 차분방정식으로서의 이산화

(5)의 해를 구할 때 그대로 미분방정식의 형태로 계산하는 것은 불가능하므로 이것을 근사화시킬 필요가 있다. 따라서 웨이퍼 표면을 그림 4와 같이 가로 세로를 일정한 크기 l 을 갖는 격자형태로 이산화시켜 차분방정식으로 근사화시키는 것이 합리적이다.

그림 4에서 $T_{m,n}$ 를 절점 (m,n) 에서의 웨이퍼 온도라 하면 열전도 미분방정식의 유한 차분방정식을 유도할 수 있다. $T_{m,n}$ 를 절점 (m,n) 에서의 웨이퍼 온도라 하면, Δx 가 매우 작을 때, 절점 $(m+1/2,n)$ 에서 x 에 대한 온도의 일차 도함수는 다음과 같이 근사화될 수 있다.

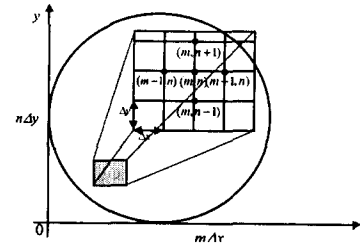


그림 4 유한 차분방정식을 구하기 위한 웨이퍼의 분할 구조
Fig. 4 Wafer structure for finite-difference equation

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{m+1/2,n} \cong \frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} \quad (9)$$

그리고, 이와 같은 과정을 거쳐 $\Delta x = \Delta y = l$ 의 단위격자로 쪼개면 절점 (m,n) 에서의 (10)과 같은 유한 차분방정식(finite-difference approximation)을 구할 수 있다.

$$(T_{m-1,n} + T_{m+1,n} + T_{m,n-1} + T_{m,n+1} - 4T_{m,n}) + q_{rad} \frac{l^2}{k} = 0 \quad (10)$$

그러나 절점 (m,n) 이 웨이퍼의 가장자리 경계선(boundary)에 위치한 경우에는 대류에 의한 열전달의 영향이 중앙부분에 비하여 클 수 있다. 따라서 대기의 온도가 웨이퍼의 온도와 동일하다고 보고, 웨이퍼의 가장자리에서 대기와 열전달이 없는 단열평면으로 보고 계산을 할 수 있고, 이 경우 가상적인 절점들에 대하여 $T_{m+1} = T_{m-1}, T_{n+1} = T_{n-1}$ 의 조건을 만족한다.

$$(2T_{m-1,n} + 2T_{m,n-1} - 4T_{m,n}) + q_{rad} \frac{l^2}{k} = 0 \quad (11)$$

결국 각 절점에 대한 유한 차분 방정식을 정리하면 다음과 같다.

$$AT = \frac{l^2}{k} Q \quad (12)$$

여기서 T 는 각 절점의 온도를 나타내는 행렬이며, Q 는 각 절점에 가해진 q_{rad} 를 정리한 행렬이다.

2.5 단일 센서의 온도측정에 의한 전체 온도 추정

계산과정 중에 (12)에서와 같이 행렬 A 가 singular한 형태가 된다. 이것은 웨이퍼 표면의 온도분포가 정할 수 없는 한 개의 해를 갖고 있고 실측된 일정한 한 점의 온도의 변화에 따라 전체 온도분포가 평형하게 변화한다는 것을 의미한다. 실측된 한 점의 온도에 대응하는 전체 온도분포를 구하기 위해서는 적절한 식의 변형이 필요하다.

$$A = [A_{1*}, A_{2*}, \dots, A_{n*}] = \begin{bmatrix} A_{1*} \\ A_{2*} \\ \vdots \\ A_{n*} \end{bmatrix}, A_{i*} = [a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{im}] \quad Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

A를 (13)과 같이 여러 개의 행렬의 조합으로 나타낼 수 있는데 이 형식을 이용하여 (12)로부터 (14)를 유도할 수 있다.

$$A_{i*}T = \sum_{j=1}^k a_{ij}t_j = \sum_{j=1, j \neq k}^k a_{ij}t_j + a_{ik}t_k = \frac{f^2}{k} q_i \quad (14)$$

또한 위 식은 결국 (15)와 같이 변형될 수 있다.

$$\sum_{j=1, j \neq k}^k a_{ij}t_j = \frac{f^2}{k} q_i - a_{ik}t_k \quad (15)$$

A', T', 그리고 Q'을 (16)과 같이 정의하면 결과적으로 (12)로부터 변형된 형태인 (17)이 유도된다.

$$A' = [A_{*1} \ A_{*2} \ \dots \ A_{*k-1} \ A_{*k+1} \ \dots \ A_{*n}] \quad (16)$$

$$T' = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_{k-1} \ t_{k+1} \ \dots \ t_n]^T, \quad Q' = \frac{f^2}{k} Q - A_{*k}t_k$$

$$A' T' = Q' \quad (17)$$

T'가 (n-1)×1 행렬이고 A의 rank가 n-1이므로 pseudo-inverse를 취해 유일한 T'를 구할 수 있다. 결국 k번째 격자의 온도를 알았을 때 전체 온도분포 T_k는 [t₁ t₂ ... t_{k-1} t_k t_{k+1} ... t_n]^T와 같게 된다.

2.6 다중 센서의 온도측정을 통한 전체 온도 추정 분포

그림 4에서 웨이퍼의 중앙에 한 개의 고온계와 주변에 i개의 고온계가 설치되어 있을 때 각각의 고온계가 설치된 점을 P_k라 하고 직교좌표계 (m, n)에 대응하는 한 점을 P(m, n), T_k의 직교좌표계 (m, n)에 대응하는 특별한 한 점의 온도를 T(m, n, k)라고 정의한다. 이때 공정 중에는 가장자리 효과나 대류, 진공도, 복사열, 그리고 그 밖의 예측할 수 없는 원인 등에 의해 각각의 i개의 T_k가 서로 일치하지 않을 수 있다. 따라서 각각의 점에서 추정된 온도분포를 이용한 합리적인 예측방법이 필요하다. 이러한 방법의 일종으로 T_k에 대해 부분별 가중치를 주고 이를 합산하는 방법을 모색하였다. 웨이퍼의 위의 임의의 점 P(m, n)과 k번째 고온계의 위치 P_k와의 거리를 D(m, n, k)를 (18)과 같이 정의한다.

$$D(m, n, k) = \|P(m, n) - P_k\| \quad (18)$$

D(m, n, k)를 이용한 weight함수를 W(m, n, k)라고 하면 k번째 고온계에 대해 각 점에 대해 가중치를 적용한 온도분포는 T(m, n, k)W(m, n, k)이며 최종 예상 온도 분포 T(m, n, e)는 (19)와 같은 형태로 유도될 수 있고 이는 웨이퍼의 각 격자상의 중심온도를 추정하는데 핵심적으로 사용되게 된다.

$$T(m, n, e) = \frac{\sum_{k=0}^i T(m, n, k)W(m, n, k)}{\sum_{k=0}^i W(m, n, k)} \quad (19)$$

3. SIMULATION 및 고찰

본 논문에서 유도된 식들에 의한 시뮬레이션을 통한 수치예제를 확인하기 위해 설정한 웨이퍼의 기본적인 값들은 표 1과 같다. 이 값들은 본 연구소에서 보유/운용하고 있는 RTP기종인 AST SHS200 모델을 기초로 한 것이다.

3.1 단일 센서 계측에 의한 온도 분포

웨이퍼 표면을 충분히 작은 격자로 나누기 위해서 웨이퍼 평면을 가로 40 개 및 세로 40 개를 기준으로 하여서 총 1600개의 격자로 구분하였다. 이 경우 중간 계산에서 40²×40² 크기의 행렬이 나오는데 격자를 너무 작게 나눌 경우 더욱 정밀한 계산값이 나오지만 계산량이 너무 폭주하게 되어(expllosion) 계산시간이 길어져서 실제 표면온도와 계산치간의 시간지연이 생기므로 온도곡선이 damping하는 원인이 될 수 있다. 보통 웨이퍼의 중앙에 고온계를 설치하는데 이것은 RTP챔버의 특성에 따라 그 위치가 변경될 수 있다. 그림 5는 웨이퍼의 중앙 상단끝점에 고온계를 설치하여 그 값이 1200℃로 측정되었을 경우 전체 웨이퍼의 온도추정분포를 시뮬레이션한 값이다. 그림에서와 같이 웨이퍼 표면의 임의의 단일점의 센서계측에 의한 온도분포의 시뮬레이션 결과로 중앙에서 가장자리로 갈수록 온도가 감소하는 양상을 보였다.

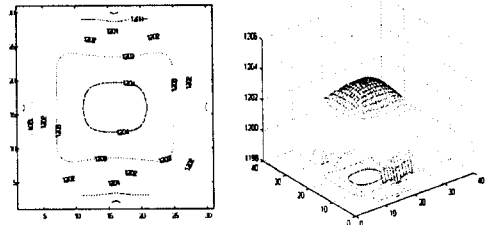


그림 5 단일점 계측에 의한 온도추정분포

Fig. 5 The distribution of estimated temperature by one-point measurement

표 1 함수의 상수값들

Table 1 Constants of the function

입력변수 및 상수	설정값
램프의 간격	1.3cm
램프의 길이	20.8cm
웨이퍼의 직경	10.16cm
격자의 크기	0.254cm
웨이퍼와 램프의 최단거리	4cm
웨이퍼와 반사면의 최단거리	2cm
ε _w (웨이퍼의 방사율)	0.7
α _w (웨이퍼의 흡수율)	0.7
σ(스테판-볼츠만 상수)	5.674×10 ⁻¹² [W ⁻¹ cm ⁻² K ⁻⁴]
k(웨이퍼의 열 전도율)	2.69×10 ³ [Wm ⁻¹ K]
h _v (대류 열 전달 계수)	2.60×10 ³ [Wcm ⁻² K ⁻¹]

3.2 다중 센서 계측에 의한 온도 분포

여기서 $W(m, n, k)$ 의 함수를 어떻게 지정해 주느냐에 따라 실측된 값에 대한 의존도가 결정된다. 확률적으로 실측된 점의 온도가 가장 신뢰도가 높으며 그 지점과 가까울수록 신뢰도가 높아지고 멀어질수록 신뢰도가 낮아지므로 이에 근거하여 다음과 같은 세 가지 경우를 고려하였다.

- (i) $W(m, n, k) = 1/D(m, n, k)^S$, 여기서 S는 Sensitivity임
- (ii) $W(m, n, k) = (MAX(D(m, n, k), 0 \le k \le i) - D(m, n, k))^S$
- (iii) $W(m, n, k) = e^{S * (MAX(D(m, n, k), 0 \le k \le i) - D(m, n, k))}$

각각의 방법을 이용하여 그림 6과 같이 웨이퍼 위의 다섯 부분에 임의로 불균형한 값을 주고 검증을 해보았다.

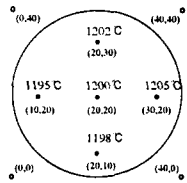


그림 6 다원점 센서에 의한 계측 위치
Fig. 6 The distribution of estimated temperature by multi-point measurement

(i)의 경우(S=1,2,3)



그림 7 (i)의 방법에 의한 온도추정분포
Fig. 7 The distribution of estimated temperature by method (i)

(ii)의 경우(S=1,2,3)

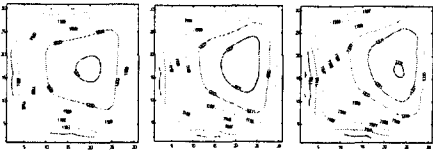


그림 8 (ii)의 방법에 의한 온도추정분포
Fig. 8 The distribution of estimated temperature by method (ii)

(iii)의 경우(S=1,2,3)

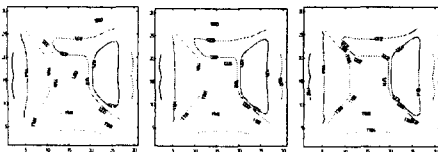


그림 9 (iii)의 방법에 의한 온도추정분포
Fig. 9 The distribution of estimated temperature by method (iii)

4. 결 론

RTP 공정의 열역학적 분석을 통하여 모델을 구성하였고 다원점 계측을 통한 입력이 있을 경우를 고려해 온도분포를 추정할 수 있는 방법은 제안하고 이에 대한 수치 예제를 시뮬레이션을 통하여 구현하였다. 다원점 계측을 통한 웨이퍼의 전체 온도 추정분포를 구하는 것은 단일점 계측을 통한 방법의 단점인 온도불균형과 예측 불가능한 온도변화에 대한 부적응성을 극복하여 보다 정확하고 적응성이 강한 장점이 있다. 이를 실제 시스템에 도입하기 위해서는 웨이퍼 표면온도에 대한 실시간 계측(in situ-sensing)과 그 기기의 반응실 구조에 대한 구체적인 모델링이 선행되어야 한다. 이러한 방법은 다원점 온도 계측에 의한 온도 추정 분포를 도입하여 웨이퍼의 불균형한 온도분포를 신속하고 정확하게 추정할 수 있게 함으로써 실시간 시스템 구현이 가능하게 한다. 특히 DES(Discrete Event System) 모델링의 하부시스템에 포함시켜 전체 시스템의 고장 포용을 포함한 실시간 제어 RTP 시스템을 구현할 수 있으며, 이를 바탕으로 전체 반도체 공정의 수율을 향상시켜 생산비 절감효과를 기대할 수 있다.

감사의 글
본 연구는 1997-1999년도 한국학술재단의 연구비에 의해서 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] B. DeHart, K. Johnsgard, "New developments in rapid thermal processing," *Solid State Technology*, pp. 107-109, February, 1996.
- [2] Gabriel G. Barna Lee and Keith Brankner, "MMST Manufacturing Technology-Hardware, Sensors, and Process", *IEEE Transactions. on Semiconductor Manufacturing*, vol.7, no.2, May 1992.
- [3] S. A. Norman, "Optimization of wafer temperature uniformity in rapid thermal processing systems," submitted to *IEEE Transactions on Electron Devices*, June, 1991.
- [4] K. L. Knutson, S. A. Campbell, and F. Dunn, "Modeling of Three-Dimensional Effects on Temperature Uniformity in Rapid Thermal Processing of Eight Inch Wafers," *IEEE Trans. Semi. Manufact.*, vol. 7, no. 1, pp. 68-72, Feb. 1994
- [5] M. N. Ozisik, *Basic Heat Transfer*, New York, McGraw-Hill, 1977

저 자 소 개



심 영 태 (沈 映 兌)

1972년 3월 28일생. 1997년 연세대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정



이 석 주 (李 錫 舟)

1968년 5월 5일생. 1991년 연세대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1999년 동 대학원 졸업(공학). 현재 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 박사후 연구원.



민 병 조 (閔 丙 朝)

1975년 3월 26일생. 1998년 연세대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정



조 영 조 (趙 瑛 朝)

1961년 5월 6일생. 1983년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 박사. 1990년~1998년 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원. 1998년~현재 한

국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원.



김 학 배 (金 鶴 培)

1965년 10월 10일생. 1988년 서울대 전자공학과 졸업. 1990년 미국 미시간대 대학원 전기공학과(EECS) 졸업(석사). 1994년 8월 동 대학원 졸업(공학). 1994년 9월-1996년 9월 미국 National Research Council(NRC)

Research Associate at NASA Langley Research Center. 1996년 9월-현재 연세대학교 전기컴퓨터공학과 교수.