

# RTA 시스템에서의 온도제어와 웨이퍼상의 온도분포 Simulation

## (Temperature Control and Wafer Temperature Distribution Simulation in RTA System)

趙炳珍\*, 金炘台\*, 金忠基\*

(Byung Jin Cho, Kyeong Tae Kim and Choong Ki Kim)

### 要 約

텅스텐 할로겐 램프를 빛 에너지원으로 사용하는 고속열처리 시스템을 제작하였다. 온도제어 방법은 열전대가 측정하는 온도로써 온도제어를 수행하지 않고, 열전대의 응답시간을 고려하여 그 응답시간 만큼을 보상해준 계산된 실제온도로써 온도제어를 함으로써 더 정확한 온도제어를 가능하게 하였다. 또한, 시스템내에서 웨이퍼에 도달하는 빛 에너지의 분포도를 계산하였고, 램프의 간격을 조절함으로써 빛 에너지 분포의 균일도를 높일 수 있었다. 입사빛의 파장, 실리콘의 흡수율, 반사율, 복사등을 고려하여 웨이퍼의 온도의 균일도를 계산하였다. 빛 에너지 분포가 3" 웨이퍼에서 1% 이내로 균일할 경우, 온도의 균일도는 2% 정도가 됨을 알 수 있었다.

### Abstract

A rapid thermal annealing system using tungsten halogen lamp has been designed and assembled. A control scheme where the temperature control is executed with calculated wafer temperature by considering the thermocouple delay rather than measured thermocouple temperature, is proposed. This control scheme gives more accurate control of the wafer temperature. In addition, the distribution of transmitted light power to the wafer in the system has been simulated, and lamp interval modification has been able to give more uniform light power distribution. Considering incident light spectrum, absorption, reflection, radiation of silicon, etc., temperature profile has been simulated. When the light power uniformity on the 3" wafer is below 1%, the temperature uniformity is about 2%.

### I. 서 론

VLSI 소자의 제작에 있어서 각 소자의 횡적크기를 줄여 집적도를 높이려면, junction의 깊이도 줄여

야 한다. 보통, 소자제작을 위하여 불순물 이온을 주입하게 되는데, 이 이온주입때 발생하는 결정결함을 제거하기 위해 일반적으로 furnace에서 수십분 이상 열처리를 하게되며, 이때 불순물이 확산되어 junction의 깊이가 깊어진다. 따라서 submicron 기술의 개발을 위하여 불순물 확산을 최대한으로 막으면서 결정결함을 제거하는 방법이 필수적이며, 이를 위하

---

\*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科  
(Dept. of Electrical Eng., KAIST)

接受日字: 1988年 3月 3日

여 고온에서 순간적으로 열처리를 수행하는 고속열처리(RTA: rapid thermal annealing)방법이 최근 활발히 연구되고 있다.<sup>1)</sup> RTA 장비에 사용되는 빛 에너지원으로써는 아크램프<sup>2)</sup>와 텅스텐 할로젠 램프등이 주로 쓰이고 있는데, 이 중에서도 텅스텐 할로젠 램프가 전력제어가 쉽고 호환성이 좋으며 시스템의 구조를 단순화시킬 수 있기 때문에 가장 많이 쓰이고 있다. RTA 장비의 성능은 주로 온도제어의 정확성과 웨이퍼상의 온도균일도 등에 의해 평가되어진다. 온도제어를 위하여 웨이퍼의 온도를 측정하는 방법으로써는 열전대를 이용하는 것과 pyrometer를 이용하는 방법이 있는데,<sup>3)</sup> 어느 방법이든 측정기구의 지연시간이 온도제어의 정확도에 영향을 미치게 된다. 또한 한 웨이퍼상의 각 지점간에서 온도차이가 심하게 날 경우에 웨이퍼가 열적stress를 받아 slip등이 생기게 된다. 본 논문에서는 온도측정기구의 지연시간을 고려한 보다, 정확한 온도제어방법을 소개할 것이며 웨이퍼상의 온도의 균일도에 대한 simulation을 논하게 될 것이다.

## II. RTA 장비의 제작

텅스텐 할로젠 램프를 빛 에너지 원으로 사용하는 RTA 시스템을 제작하였다.<sup>4)</sup> Quartz로 만들어진 사각튜브 속으로 역시 quartz로 만들어진 웨이퍼 운반대가 웨이퍼를 실어나르게 된다. Quartz 튜브의 아래, 윗쪽에 램프들이 위치하게 되며 알루미늄 거울이 그 외곽을 둘러싸고 있어 반사경의 역할을 하게 된다. 램프 정격은 120V용 1250W이며 긴 원통형으로써 크기는  $\phi 10 \times 200\text{mm}$  이다. 열처리 과정동안 quartz 튜브내의 공기의 온도는  $400 \sim 500^\circ\text{C}$  이므로 냉각장치가 필요하며, 제작된 시스템에서는 냉각수으로써 반사경을 식히고, 압축공기로서 램프를 식히게 된다. 웨이퍼의 온도는 K-type 열전대를 사용하여 측정하는데, 웨이퍼 운반대 위에 열전대가 붙어있는 조각 wafer가 항상 위치하게 되고, 그 옆에 공정을 위한 웨이퍼가 놓이게 된다. 부하 결선 방법은 3상 4선식 Y결선을 사용하며, 각 상에 6개의 램프가 연결되어 있어 총 전력소모는 22.5KW가 된다. 전력 제어방식은 SCR에 가해지는 트리거 펄스의 위상을 조절하는 firing angle 방식을 채택하였다. Micro-processor를 사용하여 closed loop control을 하게되며 각 신호들의 대략적인 흐름도가 그림 1에 나타나 있다. 먼저, 웨이퍼의 온도를 열전대가 측정하게 되고, 열전대의 출력전압이 냉점점(cold junction) 보상회로와 증폭회로를 거쳐 12bit A/D converter의 입력으로 들어가서 온도에 비례하는 12비트 데이터가

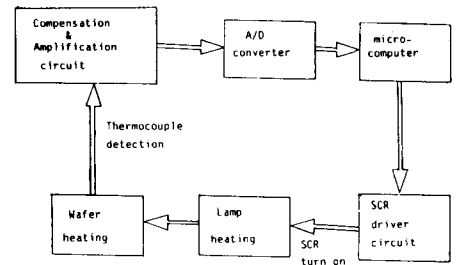


그림 1. Closed loop control system의 개략도  
Fig. 1. Block diagram of the closed loop control system.

나오게 된다. 이 12비트 데이터가 micro-processor로 들어가서 내장되어 있는 프로그램에 의해 어떤 원하는 처리를 거쳐 SCR 구동회로에 적당한 pulse를 내보내게 된다.

## III. 열전대 지연시간을 고려한 온도제어 방법

어떤 일정한 에너지를 웨이퍼에 가했을때 웨이퍼의 시간에 따른 온도의 변화는

$$C \frac{dT}{dt} = P_a - P_i \quad (1)$$

를 따르게 된다.<sup>5)</sup> (여기서, C는 실리콘의 heat capacity, T는 온도,  $P_a$ 는 웨이퍼가 받아들이는 에너지의 총합,  $P_i$ 는 잃는 에너지의 총합을 나타낸다.) 따라서 어떤 일정한 전력  $P_s$ 를 램프에 가하고 있을 경우, 웨이퍼의 온도는 어떤 정착온도  $T_s$ 를 향하여 증가하게 될 것이다.

정착온도  $T_s$ 까지 도달하는데 걸리는 시간을 줄이기 위하여 처음에는 최대의 전력을 가하다가 웨이퍼의 온도가  $T_s$ 에 도달하는 순간에 전력을  $P_s$ 로 줄이는 방법을 생각하여 보자. 이때, 웨이퍼 온도의 시간에 따른 특성은 (1)식을 따르는 1차식이 되므로 어떠한 overshoot도 없을 것이 기대된다. 그러나 열전대로 측정된 결과는 그림 2의 실선처럼 항상 overshoot 현상이 나타났다. 이는 열전대에 의한 측정시간 지연이 무시될 수 없는 값을 보여주고 있다. 그림 2의 실선이 측정온도 일때, 점선은 예상되는 실제 온도이다. 즉,  $t=t_1$ 일때 실제온도는  $T_s$ 에 도달하였지만 측정치는  $T_1$ 이므로 최대전력을 계속 가해주게 된다.  $t=t_2$ 에서, 측정온도가  $T_s$ 가 되고, 이때 램프의 전력이 줄어든다. 따라서 실제온도는  $t=t_2$ 인 순간에 최대값을 가지게 되며  $t > t_2$ 에서는 점차로 감소하게 된다. 그러나 전력이 줄어들었음에도 불구하고

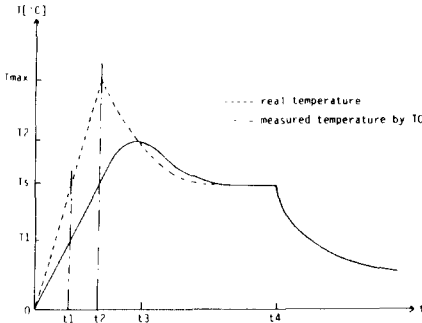


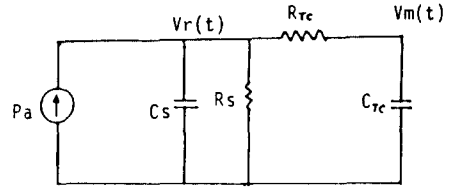
그림 2. Overshoot 현상에 대한 설명  
 Fig. 2. Illustration about overshoot phenomenon.

고 측정온도는 계속 증가하게 되는데 이는 웨이퍼의 실제온도가 열전대의 온도보다 아직 더 높기 때문이다. 결과적으로 overshoot가 생기게 되는데, 이를 제거하기 위하여는, 실제온도가  $T_s$ 가 되는 순간(즉  $t = t_1$ 인 순간)에 램프의 전력을 줄여야 하며, 시간  $t_1$ 을 알기 위해서는 열전대의 지연시간을 정확히 알아야 한다. 그러나, 열전대의 지연시간을 직접적으로 정확히 알기에는 거의 불가능한데, 이는 열전대가 웨이퍼에 붙어있는 조건(접착제의 양, 열전대 접합부의 크기 등)에 따라 그 지연시간이 달라지기 때문이다. 따라서 그 지연시간은 열전대를 웨이퍼에 붙인후 간접적으로 평가하여야 한다. (1)식과 같은 열방정식으로 부터 웨이퍼의 온도특성을 알기쉬운 전기적 등가회로로 바꿀 수 있다. 만일 열전대가 없다면, 그때의 등가회로는 R, C가 병렬로 연결되어 있는 회로에 에너지원이 연결되어 있는 형태로 될 것이고, 열전대에 의한 시간지연을 고려한다면, 또 하나의 R, C가 그림 3처럼 연결되게 될 것이다. 이 회로에서 전류는 에너지의 흐름, 전압은 온도에 대응된다. 즉,  $R_s$ 와  $C_s$ 는 웨이퍼의 열적저항과 열용량,  $V_m(t)$ 는 열전대에 의한 측정온도가 된다. 이때  $V_r(t)$ 를 웨이퍼의 실제온도라 하면

$$V_r(t) = R_{TC} \cdot C_{TC} \frac{dV_m(t)}{dt} + V_m(t) \quad (2)$$

가 성립하여 열전대의 지연시상수  $R_{TC} \cdot C_{TC} (= \tau)$ 를 알 수 있다면 측정치로 부터 실제온도를 알 수 있게 된다.

그림 2의 경우와 같은 방법으로 전력을 가해주고 웨이퍼의 온도를 열전대로 측정하여  $V_m(t)$ 값을 측정 한 뒤(그림 4의 실선),  $\tau$ 값을 변화시켜 가면서 그때



$$V_r(t) = R_{TC} C_{TC} \frac{dV_m(t)}{dt} + V_m(t)$$

그림 3. 열전대의 시간지연을 고려한 등가회로  
 Fig. 3. Equivalent circuit with thermocouple delay.

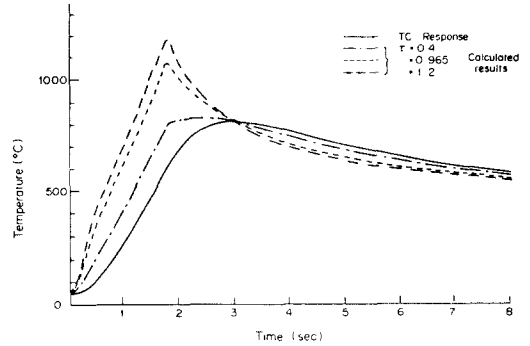


그림 4. 열전대에 의한 측정치와 여러  $\tau$ 값에 의한 계산결과  
 Fig. 4. Calculated responses with several values of  $\tau$  and measured response.

의  $V_r(t)$ 값을 그린것이 그림 4에 나타나 있다. 열전대의 시간지연이 없다면( $\tau = 0$ 이라면)  $V_m(t) = V_r(t)$ 가 되어 두 곡선이 일치하게 된다. 열전대의 시간지연이 약간씩 증가하면( $\tau$ 값을 약간씩 증가시키면)  $V_r(t)$ 는 점점 더 왼쪽으로 이동하게 되어  $V_r(t)$ 의 첨두치가 왼쪽으로 이동하게 된다.  $\tau$ 를 더욱 증가시키면  $V_r(t)$ 의 첨두점은 더 이상 왼쪽으로 이동하지 않고 그 첨두값만 증가하게 된다. 이 이유는 그림 2의  $t_2$ , 즉 전력이 줄어든 순간보다  $V_r(t)$ 의 첨두점이 왼쪽으로 이동할 수는 없기 때문이며, 또한  $V_m(t)$ 는 이 순간점에서 변곡점을 가지게 된다.

따라서  $\tau$ 값을 증가시켜 감에 따라  $V_r(t)$ 의 첨두점이 왼쪽으로 이동하다가 더 이상 이동하지 않게 되는 때의  $\tau$ 값이  $\tau$ 의 최소값이 된다.  $\tau$ 값을 더욱 크게 하면  $V_r(t)$ , 즉 계산치의 첨두값이 실리콘의 녹는점 보

다 더 높은 값을 가질 수 있는데, 실제 실험에서 실리콘이 녹지 않았다면 이로써  $\tau$ 의 최대값을 설정할 수 있다. 실험에 의하여 직경 0.5mm 열전대의  $\tau$ 값은  $0.9 < \tau < 1.2$ 초의 범위를 가지는 것을 알 수 있었다.

이 범위내의  $\tau$ 값들을 선정한 다음, 계산된 온도값  $V_r(t)$ 를 사용하여 온도제어를 수행한 뒤  $V_r(t)$ 를 그려보면  $\tau$ 를 더욱 정확히 알 수 있다. 만일  $\tau$ 값을 실제값보다 크게 잡았다면 실제온도가  $T_s$ 가 되는 순간보다 일찍 램프전력을 줄일 것이므로 undershoot가 생길 것이고,  $\tau$ 값을 실제보다 작게 잡았다면 반대로 overshoot가 생길 것이다. 따라서  $\tau$ 값을 바꾸어 가면서  $V_r(t)$ 를 그려봄으로써 거의 정확한  $\tau$ 값을 알 수 있게 된다. 직경 0.5mm 열전대의  $\tau$ 값은 보통 0.96초 정도가 됨을 알 수 있었다. 이 값을 이용하여 계산된 실제 온도값으로 온도제어를 행한 결과가 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 보는 바와같이 이 방법을 사용함으로써 더 빠르게 가열하고, 더 정확하게 제어할 수 있음을 알 수 있다.

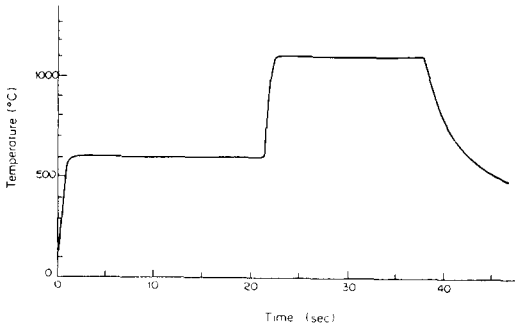


그림 5. 전형적인 열처리 공정을  $\tau=0.96$ 을 선택하여 계산치를 사용하여 온도제어를 수행한 결과

Fig. 5. A typical annealing heat cycle. The temperature is the real wafer temperature which is calculated with  $\tau = 0.96$ sec.

IV. 온도 균일성에 관한 simulation

웨이퍼상의 온도가 불균일할 경우 slip 등의 결정결함이 나타나게 되고, 특히 고온에서 순간적으로 열처리를 하는 RTA 시스템의 경우 이 문제가 심각하다. 웨이퍼상의 온도의 균일성을 계산하기 위해서는 먼저 웨이퍼에 도달하는 빛에너지의 균일도를 알아야 한다.

1) Power 분포 simulation

긴 원통형의 텅스텐 할로젠 램프를 사용하는 RTA 시스템에서는, 웨이퍼에서 램프까지의 거리는 램프의 길이에 비해 상당히 짧다. 따라서 웨이퍼상의 한 점에서 보면 램프는 무한선조로 근사할 수 있다. 이 때는 램프의 길이방향에 대한 빛세기의 변화는 무시할 수 있으므로 이 simulation을 램프길이에 대한 직각방향, 즉 램프열의 방향의 1차원적 power 분포를 구하는데 그 목표를 두었다. 무한선조의 단위길이당 방출되는 power를  $P[W/mm]$ 라 하면, 길이  $L[mm]$ 에서 방출되는 power는  $L \times P[W]$ 가 된다. 한편, 무한선조로부터 r만큼 떨어진 원통면에서의 단위면적당 받는 power는  $\psi[W/mm^2]$ 이라 하면,  $LP = \psi \times 2\pi rL$ 이 성립하고 따라서  $\psi = P/2\pi r(W/mm^2)$ 이 된다. 또한 웨이퍼면은 원통면이 아니고 평면이므로 각도를 가지고 빛이 입사하게 된다. 따라서 웨이퍼의 단위면적당 받는 power는

$$\psi = \frac{P}{2\pi r} \cos\theta (W/mm^2) \tag{3}$$

이 된다. 실제 시스템에서는 램프 뒤에 알루미늄 거울이 있으므로 거울의 효과를 고려하여야 한다. 이때의 웨이퍼가 받는 power는 그림 6에서 보는 바와 같이

$$\psi_s = \frac{P}{2\pi R_1} \cos\theta_1 + K_r \frac{P}{2\pi R_2} \cos\theta_2 \tag{4}$$

$K_r$ ; 알루미늄의 반사계수 ( $\approx 0.8$ )

로 주어지게 된다.

그림 7의 (a)는 램프의 위치도를 나타낸다. 웨이퍼면에서 램프중심까지의 거리는 22mm, 램프 중심에서 거울까지의 거리는 5mm이다. 램프의 배열에 있어서, 바깥쪽 램프의 간격은 줄이고 안쪽 램프의 간격을 늘이는 식으로 배열을 하면 웨이퍼에 도달하는 power

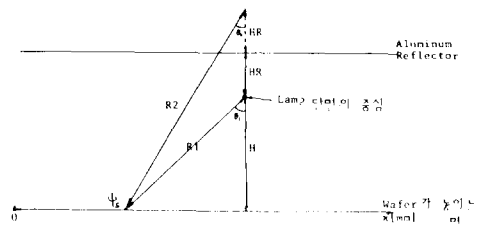
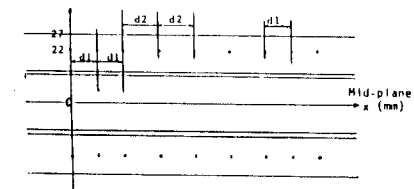
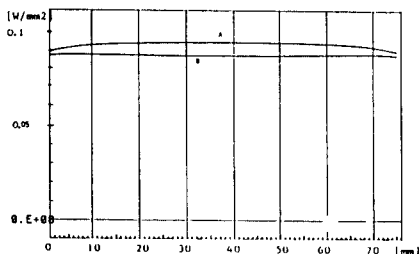


그림 6. 거울의 효과를 고려하였을 때의 power 계산을 위한 모델

Fig. 6. Model for calculation of the wafer receiving power with aluminum reflector.



(a)



(b)

그림 6. RTA 시스템의 램프 위치도와 power 분포도  
 $d_1 = 11$ ,  $d_2 = 15$ 인 경우가 (b)의 A,  $d_1 = 11$ ,  
 $d_2 = 17$ 인 경우가 (b)의 B에 해당한다.

Fig. 7. Schematic diagram of the lamp position of RTA system and power density distribution for(a).

Fig.(b) A is for  $d_1 = 11$ ,  $d_2 = 15$ , and  
 Fig. (b) B is for  $d_1 = 11$ ,  $d_2 = 17$ .

의 균일도를 높일 수 있다. 그림 7의 (a)에서  $d_1 = 11$ ,  $d_2 = 15$ mm인 경우의 power의 분포도가 (b)의 A에 해당한다. (b)의 그림에서 x축은 웨이퍼가 놓이는 면의 각 지점들을 나타내고 y축은 (4)식에서  $P = 1$ 로 두었을 때 웨이퍼가 받는 단위 면적당 power 값을 뜻한다. A의 경우 3" 웨이퍼상에서 균일도는 5.3% 정도이고, 도달되는 power의 최대치는  $9.5 \times 10^{-2} \text{ W/mm}^2$ 이다.  $d_1 = 11$ ,  $d_2 = 17$ mm로 하였을 경우에 (b)의 B에서 보는것처럼 균일도는 1% 이내로 거의 이상적인 분포를 가진다. 그러나 도달되는 power의 최대치는  $8.8 \times 10^{-2} \text{ W/mm}^2$ 으로 떨어진다.

2) 온도분포 simulation

웨이퍼상을 작은 면적요소들로 잘랐을 때, 각각의 요소의 시간에 따른 온도의 변화는 (1)식을 따르게 된다.

이 (1)식을 1차원적으로 풀어 1차원적 온도분포를 구한다. 각 요소의 크기는  $1 \times 1 \times 0.35 \text{ mm}^3$ 으로 취하였으며 여기서 0.35mm는 웨이퍼의 두께에 해당한다. 단위 시간당 웨이퍼상의 각 요소가 흡수하는 에너지,  $P_a$ 는 웨이퍼 온도와 입사빛의 파장의 함수로

나타난다. 램프에서 나온빛은 process chamber의 역할을 하는 quartz 튜브를 지나서 웨이퍼에 도달하게 되므로 실제로 웨이퍼에 도달하는 에너지는 앞절에서의 계산결과 처에다 quartz의 투과도를 곱한 것이 된다.  $P_a$ 를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_a = \int P_{sur} T(\lambda) I(\lambda) (1-R(\lambda)) (1-e^{-\alpha(\lambda, T)d}) \quad (5)$$

- $P_{sur}$  : quartz의 투과도가 1일때 웨이퍼에 도달하는 빛 에너지의 세기
- $T(\lambda)$  : quartz의 투과도
- $I(\lambda)$  : 램프에서 나오는 빛의 spectrum
- $R(\lambda)$  : 실리콘의 반사계수<sup>8)</sup>
- $\alpha(\lambda, T)$  : 실리콘의 흡수계수
- $d$  : 웨이퍼의 두께

여기서  $T(\lambda)$ 는 spectrophotometer를 사용하여 측정하였다.<sup>16)</sup> 텅스텐 발열체의 emissivity는 blackbody나 graybody와는 다르다. 그러나, 폭패인 원통속에서의 emissivity는 그 물질의 emissivity와 관계없이 거의 1에 가까와지므로, 텅스텐 할로겐 램프의 필라멘트처럼 수 없이 꼬여있는 경우는, 그 spectrum이 전 파장영역에 걸쳐 graybody의 spectrum과 같다고 가정할 수 있다. 즉 optical pyrometer를 이용하여 텅스텐 발열체의 radiometric 온도<sup>17)</sup>를 측정한 뒤, 그 온도에 해당하는 graybody spectrum으로써 근사시켜  $I(\lambda)$ 를 구하였다.  $\alpha(\lambda, T)$ 는 band-gap 흡수계수<sup>8)</sup>와 free carrier 흡수계수를 모두 고려하여 계산하였다. (1)식의  $P_i$  부분은 복사(radiation), 전도(conduction), 대류(convection)의 세부분으로 나누어지며,

$$P_i = \sigma \epsilon_s T_s^4 + K \frac{dT_s}{dx} + hT_s \quad (6)$$

로 주어진다. 여기서  $\sigma$ 는 stefan-Boltzman 상수,  $\epsilon_s$ 는 실리콘의 emissivity,  $K$ 는 열전도계수,  $h$ 는 대류계수(convection coefficient),  $T_s$ 는 실리콘의 온도이다. 웨이퍼상의 각 요소에서의 복사, 전도, 대류의 현상을 그림 8에 나타내었다. 웨이퍼의 끝 요소에서의 복사와 대류는 세방향으로 일어난다. 대류계수는 세방향 모두 다르며,  $h_1 = 2.112 \times 10^{-4} \text{ T}^{1/4}$ ,  $h_2 = 0.938 \times 10^{-4} \text{ T}^{1/4}$ ,  $h_3 = 2.27 \times 10^{-4} \text{ T}^{1/4} \text{ [W/cm}^2 \cdot \text{°C]}$ 로 주어진다.<sup>19)</sup> 실리콘의 열전도 계수  $K$ 역시 온도의 함수이며

$$K = \frac{A}{T_s - B} \quad (A = 299 \text{ W/cm, } B = 99 \text{ K, } T_s; \text{실리콘의 절대온도}),$$

로써 주어진다.<sup>10)</sup> 위의 값들을 사용하여 (1)식을 풀어 온도특성을 구

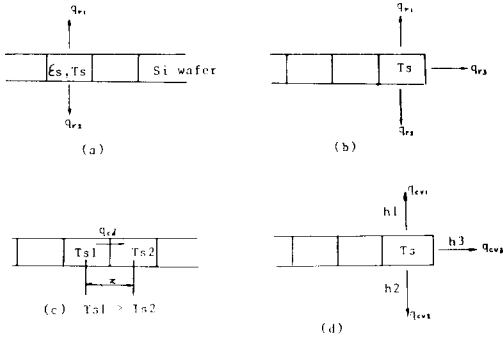


그림 8. (a) 복사 :  $q_{r1} = q_{r2} = \sigma \epsilon_s T_s^4$   
 (b) 웨이퍼의 끝 요소에서의 전체복사 에너지 :  $q_{r1} + q_{r2} + q_{r3}$   
 (c) 전도 :  $q_{ca} = K \frac{dT}{dx}$   
 (d) 웨이퍼 끝 요소에서의 대류 :  $q_{cv} = h_1 T_s + h_2 T_s + h_3 T_s$

Fig. 8. (a) radiation  
 (b) Total radiation energy at wafer edge element.  
 (c) conduction.  
 (d) convection at wafer edge element.

하였는데, 수치해석 방법으로는 Runge-Kutta 4차 식<sup>11)</sup>을 이용하였으며, 이때 초기 조건은  $T(t=0) = 27^\circ\text{C}$ 를 사용하였다.

램프에 최대의 전력을 가했을 때, 실리콘 웨이퍼 상의 한점에서의 온도변화를 simulation한 결과가 그림 9에 나타나 있다. 전력을 가한 뒤 15초 후에 램프가 꺼진 경우를 나타낸다. 마찬가지로, 최대의 전력을 가한 후 웨이퍼의 온도가 정상상태에 도달하였을 때 그 일차원적 온도분포가 그림 10에 나타나 있다. 그림 10의 A는 power의 분포가 그림 7(b)의 A인 경우에 해당하며, B는 power의 분포가 그림 7(b)의 B인 경우에 해당한다. 즉, 그림 7(b)의 A에서 power의 균일도가 5.3%인데 비해 온도의 균일도는 3.6% 정도임을 알 수 있다. 그러나, 웨이퍼의 가장자리의 온도가 가운데 부분에 비하여  $50^\circ\text{C}$  가량 낮은데, 이것은 웨이퍼의 가장자리에서 에너지손실이 가장크기 때문이다. Power의 균일도가 1% 이내로 거의 일정한 그림 7(b)의 B인 경우에도 웨이퍼의 가장자리는 가운데 보다  $30^\circ\text{C}$  정도 낮으며, 이때의 균일도는 2% 정도이다. 만일, 웨이퍼의 온도가  $1400^\circ\text{C}$ 로 완전히 균일하다고 할 때, 그 상태에서 power를 꺼버린 경우에 대한 온도분포 계산결과가 그림 11에 나타

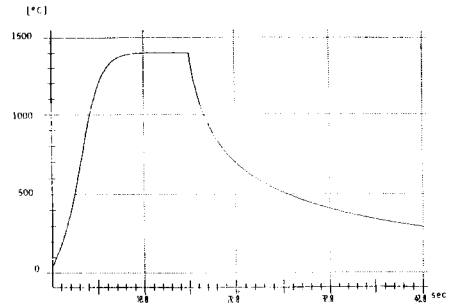


그림 9. 램프에 최대전력을 가하였을 때 실리콘 웨이퍼의 한점에서의 온도변화  
 Fig. 9. Temperature response at a point of silicon wafer, after full power on.

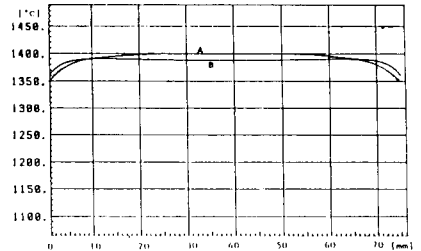


그림 10. 최대전력을 가한 뒤 정상상태에 도달하였을 때 3" 웨이퍼상에서의 온도분포도  
 A : 그림 7(b)의 A의 power 분포를 가질 때  
 B : 그림 7(b)의 B의 power 분포를 가질 때  
 Fig. 10. Temperature distribution on a 3" wafer at steady state after full power on.

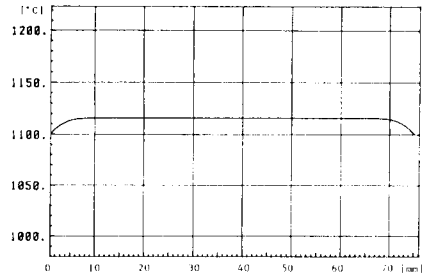


그림 11. 웨이퍼의 온도분포가 정상상태에서  $1400^\circ\text{C}$ 로 균일하다고 가정할 때, power가 꺼진 후 1초 경과하였을 때의 온도분포  
 Fig. 11. Temperature distribution at 1 sec after power off, when the wafer temperature is uniform as  $1400^\circ\text{C}$  at steady state.

나 있다. 이때도 가장자리의 온도가 가운데 부분보다 최대 15°C 까지 떨어지는 것을 알 수 있다. 이 결과는 power가 꺼진후 1초가 경과하였을 때의 온도 분포를 나타낸다.

## V. 결 론

온도 측정시 응답속도의 지연시간을 갖는 열전대를 사용하는 RTA 시스템에서, 정확한 온도제어를 위하여 열전대의 지연시간을 고려한 온도제어 방법을 제시하였다. 직경이 0.5mm인 열전대의 경우 보통 0.95초 정도의 지연 시간을 갖는 것을 알 수 있었다. 열전대로 측정된 온도값을 직접 사용하여 온도제어를 수행하지 않고 열전대의 지연시간을 고려한 계산된 온도값으로 온도제어를 수행함으로써 더 정확한 온도제어를 가능하게 하였다. 또한, 시스템 내에서 웨이퍼에 도달되는 빛 에너지의 분포도를 컴퓨터를 사용하여 계산하였다. 그 결과로부터, 램프의 간격을 일정하게 하는 것 보다는 바깥쪽 램프의 간격은 줄이고, 안쪽 램프의 간격은 늘이는 식으로 램프 간격을 조절하는 것이 웨이퍼에 도달되는 빛 에너지의 균일도를 높일 수 있음을 알 수 있었다. 이 계산에서 나온 결과와 입사빛의 파장, 실리콘의 흡수율, 반사율, 복사 등을 고려하여 웨이퍼의 온도의 균일도를 계산하였다. 3" 웨이퍼 상에서 웨이퍼에 도달되는 power의 균일도가 5.3% 정도일때 온도의 균일도는 3.6% 정도였다. Power의 균일도가 1% 이내로 균일할 때도 웨이퍼의 가장자리는 가운데보다 2% 정도 낮음을 알 수 있었다. 온도의 균일성이 떨어지면 웨이퍼당 수율저하와 slip 형성현상이 나타나

므로 온도의 균일성을 높이는 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

- [1] B.R. Wilson, Solid State Technology, p.185, Jun. 1985.
- [2] A. Lietoila, R.B. Gold, and J.F. Gibbons, J. Appl. Phys. 53(2) p. 1169, Feb. 1982.
- [3] T.E. Seidel, D.J. Lischner, C.S. Pai and S.S. Lau, J. Appl. Phys. 57(4), 15 p. 1317, Feb. 1985.
- [4] 조병진, 김경태, 김충기, 전기재료, 반도체 및 CAD 학술대회 논문집, p. 73, 1987.
- [5] W.E. Beadle, Quick reference manual for silicon IC technology, Wiley & Sons, Inc., 1985.
- [6] 조병진, 고속열처리 장치의 설계연구와 온도 제어, KAIST, p. 12, 1987.
- [7] F. Grum, Optical radiation measurements, vol. 1 Radiometry, Academic press, p. 130, 1979.
- [8] W.R. Runyan, Silicon Semiconductor Technology, Mcgraw-Hill Book Co., p. 187, 1965.
- [9] J.P. Holman, Heat transfer, 3rd ed., Mcgraw-Hill Book Co., p. 219, 1972.
- [10] Y.I. Nissim, A. Lietoila, R.B. Gold, and J.F. Gibbons, J. Appl. Phys. 51(1), p. 274, Jan. 1980.
- [11] C.F. Gerald, P.O. Wheatley, Applied numerical Analysis, 3rd ed., Addison Wesley, 1984.