

論文 91-28A-10-9

# 할로겐 램프에 의한 급속 열처리에서 기판 표면 상태에 따른 온도 상승 효과에 관한 연구

(Effect of Surface States of the Substrate on the Temperature Ramp-up Rate During Rapid Thermal Annealing by Halogen Lamps)

閔 庚 灃\*, 李 石 運\*, 朱 承 基\*\*

(Kyeong Ik Min, Seok Woon Lee, and Seung Ki Joo)

## 要 約

할로겐 램프에 의해 급속 열처리하는 경우 보통 고온에서는 광학적 고온계에 의해 온도 측정을 하지만 700°C 이하의 저온의 경우 및 온도 보정이 필요한 경우에는 열전대에 의한 측정이 불가피하다. PdAg 접착제에 의한 접촉이 흔히 사용되고 있으나 이 경우 급속열처리에서 중요한 기판 표면 상태의 영향을 관찰할 수가 없다. 본 연구에서는 실리콘기판 위에 산화막, 질화막, 불순물 및 전도성 박막(Ti 및 Co)등을 입혀 열전대의 기계적 접촉을 통해 실제 온도 상승 효과를 관찰하였으며, PdAg 접착제에 의해 접촉한 경우 및 열처리 분위기의 영향등을 비교, 조사하였다. 그 결과 표면 상태에 따라 100°C 이상의 오버슈트가 일어날 수 있음을 발견하였으며, 전도성 박막의 경우는 기계적 접촉만으로도 충분히 정확한 온도를 측정할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

## Abstract

In case of the rapid thermal process by halogen lamps, an optical pyrometer is generally used to measure the temperature. It is, however, necessary to measure the temperature by the thermocouple when the process temperature is lower than 700°C and the correction of the temperature is required. Contact by the PdAg paste is commonly used but in this case it is impossible to see the effect of surface states of the substrate, which is critical in the rapid thermal process.

In this study, real temperature ramping speed of silicon substrates covered with various thin films such as SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, dopants, and conductive layers (Ti or Co) was investigated by a mechanical contact of the thermocouple. And the results were compared with the case in which the contact was made by the PdAg paste. Effect of process ambient was also studied.

It was found that depending on the surface state, overshoot more than 100°C could occur. It was also found that in case of the substrate covered with conductive layers, mechanical contact might render the correct temperature.

## I. 서 론

\*準會員, \*\*正會員, 서울대학교 金屬工學科  
(Dept. of Metallurgical Eng., Seoul Nat'l Univ.)  
接受日字: 1991年 9月 10日

대단위 집적회로(VLSI)에서 단위 소자의 크기 감소는 소자의 집적도를 증가시키면서 동시에 소자의

수행 능력을 향상시킨다. 그런데, 짧은 통로 효과(short channel effect)를 방지하기 위해서 소자는 수평적으로 뿐만 아니라 수직적으로도 감소하여야만 하므로 매우 얇은 접합이 요구되어 진다.<sup>1,2)</sup> 소자의 저항을 감소시키지 위하여 실리사이드의 사용이 절실하게 되었으며,<sup>3)</sup> 소자 표면의 평탄화를 위한 BPSG나 PSG의 재용동시 소자에 미치는 영향을 최소화하는 것이 매우 중요하다.<sup>4)</sup> 이와 같은 요구를 만족시키기 위하여 레이저, 전자빔 등을 이용한 금속 가열 장치가 사용되었으나 균일성, 생산성 등의 문제로 최근에는 할로겐 램프 등의 복사열을 이용한 금속 열처리 장치가 개발되었으며 대단위 집적회로공정에서 필수적인 열처리 장치로 부상하였다.<sup>5)</sup>

금속열처리는 보통 상온에서 1000°C 정도의 온도를 10초 이내에 이룩하는 것으로 가열 초기의 오버슈트가 가장 큰 문제이다. 따라서 금속열처리가 등장한 이래로 온도의 측정, 제어, 균일성 등에 관하여 많은 관심이 집중되어 왔다.<sup>6,11)</sup> 이러한 지대한 관심에도 불구하고 정확한 온도측정은 아직도 해결해야 할 과제로 남아 있다. 온도의 측정은 주로 광학적 고온계 또는 열전대에 의하여 수행되고 있는데 각각 장단점을 함께 지니고 있다. 전자의 경우 분위기에 영향을 받지 않으나 저온에서의 부정확한 출력과 열처리에 따라 표면의 광학적 성질이 변하는 경우에 있어 출력의 진동을 보인다. 이에 반하여 후자의 경우에는 분위기의 영향에 따라 심각한 퇴화를 보일 수 있고 열전대가 오염의 원인이 될 수 있으므로 생산 장비에 사용되기에는 어려운 점이 있다.<sup>12)</sup> 그러나 저온 측정과 같이 광학적 고온계를 사용할 수 없는 경우에는 필수적이며, 광학적 고온계의 온도 보정에 사용되고 있다.<sup>13,14)</sup> 는 점에서 열전대를 이용한 온도 측정에 관한 연구는 매우 중요하다.

열전대를 이용한 온도 제어의 경우에 실제 시편을 열전대가 부착된 기준 시편의 옆에 두고 기준 시편을 제어하며, 이때 실제 시편의 온도는 기준 시편과 같다고 가정하는 것이 통례이다. 그런데 기관의 표면 상태에 따라 온도 상승 속도가 달라질 수 있고<sup>7,15)</sup> 특히 금속 박막이 있는 경우에는 열전대의 부착위치, 부착방법 등이 문제가 되며, 열처리에 의하여 기관 또는 분위기 기계와 반응하는 경우에는 재현성에 있어서 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 안정적인 기준시편을 표준시편으로 고정하여 실제시편과의 온도차이를 보정할 수 있으면 가장 이상적이다.

본 연구에서는 표준시편에 의한 실제시편의 온도 보정인자를 구하려는 노력의 일환으로 기관상태에 따른 온도상승효과를 하나의 표준시편에 대하여 검토

하였다.

## II. 실험방법

그림 1에 본 실험실에서 제작한 금속열처리 장치의 개략도를 나타내었다. 이 열처리 장치에는 18개의 텅스텐 할로겐 램프가 관상으로 배열되어 있으며 온도 측정은 직경 0.3mm의 K형 열전대에 의하여 이루어졌다. 금속 열처리 장치를 컴퓨터와 연결함으로써 정확한 제어를 할 수 있도록 하였으며, 각각 12비트의 해상도를 갖는 아날로그-디지털 변환기, 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 정확한 온도의 측정과 미세한 전력공급이 가능하도록 하였다. 전력 공급 방법으로서는 경우에 따라 일정한 전력을 공급하는 개회로 제어(open loop control)와 일정한 온도를 유지하도록 전력을 공급하는 폐회로 제어(closed loop control)를 사용하였다. 시편의 크기에 의한 영향<sup>16)</sup>을 배제하기 위하여 시편의 크기를 1.5×2.0cm<sup>2</sup>로 고정하였다. 실제시편의 표면온도 검출은 여러가지 방법에 의해서 가능하다.<sup>17)</sup> 시편 표면 온도 분포의 변화를 최소화하고 접촉제 소결 열처리에 의한 시편 표면 성질의 변화를 방지하기 위하여 열전대의 기계적 접촉에 의한 표면 온도 검출 방법을 택하였다.

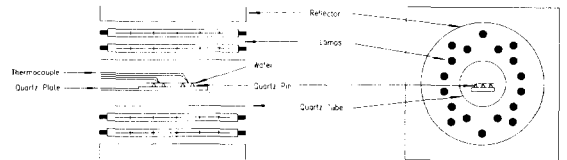


그림 1. RTA 장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the RTA system.

기계적 접촉에 의한 온도 검출의 신뢰성을 확인하기 위하여 램프에 공급되는 전력에 따라 질소 분위기(350cc/min)와 진공 분위기( $\sim 10^{-3}$  torr)에서의 온도 변화를 조사, 비교하였다. 또한 열적 접촉 상태를 알아보기 위하여 접촉제를 이용하여 열전대를 기관에 부착한 경우와 기관없이 열전대만 복사에 노출된 경우에 대해서 온도측정을 하였다. PdAg 전도성 접촉제를 이용하여 열전대를 p-웨이퍼에 접촉함으로써 그림 2(a)와 같이 표준시편을 준비하였으며, 이를 그림 6과 같이 온도제어하였을 때 기관의 표면상태에 따른 온도 상승 효과를 측정하였다.

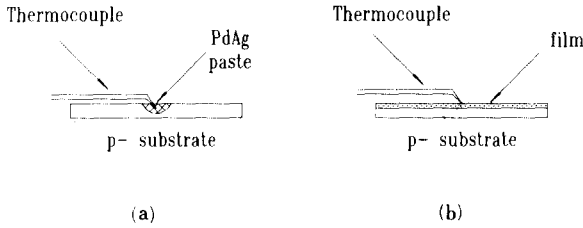


그림 2. 열전대의 접촉체에 의한 접촉  
(a) 과 기계적 접촉 (b) 방법  
Fig. 2. Paste contact.  
(a) and mechanical contact,  
(b) of the thermocouple.

III. 결과 및 검토

1. 기계적 접촉의 신뢰성

램프에 가한 전압에 따른 질소 분위기와 진공분위기에서 열전대를 기계적으로 접촉한 p-웨이퍼의 온도 변화를 그림 3에 나타내었다. 시편의 온도가 높아질수록 질소 분위기와 진공에서의 온도차이는 감소하였으며, 950°C 이상의 온도에서는 온도차이가 없어졌다. 이는  $h = h_r + h_c$  (여기에서  $h$ 는 총열전달 계수,  $h_r$ 는 복사에 의한 열전달 계수,  $h_c$ 는 대류에 의한 열전달 계수)에서  $h_r \sim T^{1.8}$ ,  $h_c \sim T^{1/4}$ 의 온도 의존성을 가짐을 고려할 때 고온에서는 복사에 의한 열전달이 지배적으로 되기 때문으로 해석할 수 있다. 한편, 온도 상승 단계에 있어서는 두 경우 모두 온도 상승 곡선의 휘어짐이 관찰되었으며, 이러한 휘어짐은 진공분위기에서 더욱 현저하였다.

온도 상승 곡선이 휘어지는 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. 열전대와 웨이퍼를 독립적으로 고려할 때 저온에서는 자유전자의 복사열 흡수에 의하여 열전대의 온도 상승 속도가 실리콘 웨이퍼보다 크다. 그러나 온도가 상승함에 따라 열전대는 금속이므로 흡수율( $\alpha$ )이  $\sim T$ 의 온도 의존성<sup>120)</sup>을 갖는 반면에 실리콘 웨이퍼는 복잡하지만 흡수율에 큰 영향을 미치는 자유운반자(free carrier)의 농도가  $\sim T^{3/2} \exp(-3E_g/2kT)$ 의 온도 의존성<sup>121)</sup>을 가지므로 어떠한 임계온도( $T_c$ ) 이상에서는 실리콘 웨이퍼의 온도상승 속도가 열전대의 온도상승속도를 능가하게 된다. 또한 열전대의 비표면적이 웨이퍼의 그것보다 훨씬 크므로 열전대의 열량 손실이 웨이퍼보다 크게되어 결국 웨이퍼 보다 더 낮은 온도에서 평형에 도달하게 된다. 그런데 열전대와 웨이퍼가 열적으로 불완전한 접촉을 하고 있다면 열전대와 웨이퍼의 온도는 차이가 나

게 되고 이때 열전대는 주로 온도가 높은 쪽의 온도를 나타내게 될 것이다. 따라서 임계온도 이하에서는 주로 열전대의 온도가 지배적이며, 그 이상의 온도에서는 실제 웨이퍼의 온도가 지배적이 되어 임계 온도를 경계로 온도 상승 곡선에 휘어짐이 나타나게 된다. p-웨이퍼의 경우 이러한 경계점이 되는 임계 온도( $T_c$ )는 램프에 가한 전압에 의존하였고 전압이 증가할수록 임계온도도 증가하였다. 즉 복사량이 증가하면 열전대와 실리콘 웨이퍼의 흡수량도 증가하고 따라서 둘의 온도상승 속도도 빨라지며 임계온도도 증가하게 되는 것이다. 따라서 휘어짐도 더 높은 온도에서 관찰된다.

그림 3에서 나타나는 이 휘어짐 현상으로부터 p-웨이퍼에 열전대를 접촉하는 경우에는 열적 접촉이 불안정하다는 사실과, 이러한 현상은 질소 분위기에서보다 진공에서 더욱 현저함을 알 수 있었다. 전도성 접촉체를 사용하면 열적 접촉이 향상될 것으로 예상되며 이의 확인을 위하여 PdAg 접촉체를 사용하여 열전대를 시편에 부착한 후에 개회로 제어에 의하여 일정한 전력을 공급하여 온도 측정을 하였다. 그림 4에 열전 대만의 온도변화, 기계적 접촉 및 접촉체를 사용한 부착에 의하여 측정한 p-웨이퍼의 온도 변화를 나타내었다. 기계적 접촉을 한 경우는 역시 휘어짐이 나타나며 이 때의 임계온도는 800°C정도이며

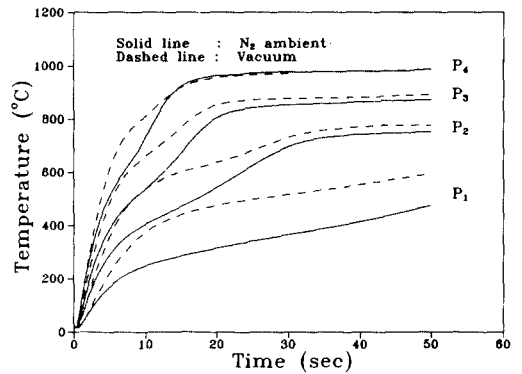


그림 3. 램프에 가한 일정한 전압에 따른 (a) 질소 분위기 (실선)에서와(b)진공 분위기 (점선)에서 p- 웨이퍼의 온도 변화. 가한 전압은 50V에서 100V까지였다 (P1 : 1.2KW, P2 : 2.0KW, P3 : 3.2KW, P4 : 4.7KW)

Fig. 3. Temperature profiles of the p-wafer in N<sub>2</sub> (a : solid line) and in a vacuum (b : dashed line). The applied voltage has been varied from 50V to 100V. (P1 : 1.2KW, P2 : 2.0KW, P3 : 3.2KW, P4 : 4.7KW)

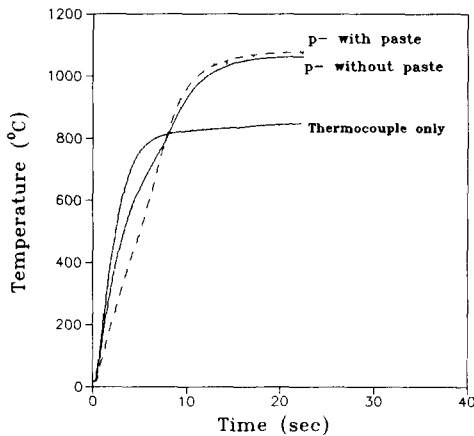


그림 4. 개회로 제어에 의한 열전대만의 온도와 p-웨이퍼(기계적 접촉과 접착제에 의한 접촉의 경우를 비교하였음)의 온도분포

Fig. 4. Comparison of temperature profiles of the unattached thermocouple and p-wafers when controlled by an open loop configuration. (mechanical contact and paste contact are compared.)

그림으로부터 접착제를 사용한 경우가 실제 웨이퍼의 온도에 더 가깝다고 추정할 때 p-웨이퍼의 온도를 기계적 접촉에 의해 측정하는 경우, 열접촉이 불안정하여 초기에는 웨이퍼의 온도를 과대평가하며 그 후에는 과소평가함을 알 수 있다.

한편 기관의 표면 상태에 따라 기관의 온도 상승 속도가 달라질 수 있다.<sup>7,15)</sup> 기관에 포함된 불순물에 의한 자유 운반자(extrinsic free carrier)는 온도 상승 속도를 현저히 증가시킬 수 있으며<sup>17)</sup> 표면 금속 박막에 의하여 복사 흡수가 상당히 증가할 수 있다. 만약 이러한 표면 상태의 변화에 의하여 기관의 온도 상승 속도가 열전대만의 온도 상승 속도보다 커지게 된다면 시편에 열전대를 기계적으로 접촉하더라도 온도 상승 곡선의 휘어짐은 관찰되지 않을 것이며, 특히 표면 금속 박막이 웨이퍼보다 기계적으로 연한 경우에는 열적 접촉이 증가될 것이다.<sup>22)</sup> 이를 확인하기 위하여 일정한 전압을 가하는 개회로 제어에 의하여 인이  $10^{19}/\text{cm}^3$  정도로 표면층에 포함된 시편과 표면에 코발트 또는 티타늄 박막이 있는 시편에 대해 기계적 접촉에 의하여 온도측정을 하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 세 경우 모두 열전대보다 온도 상승이 빠른 것으로 나타났으며, 이 때에는 휘어짐이 관찰되지 않았다. 이로부터 표면에 포함된 불순물, 코발트나 티타늄 박막은 기관의 온도 상승 속도를 현저히 상승시킴을 알 수 있었

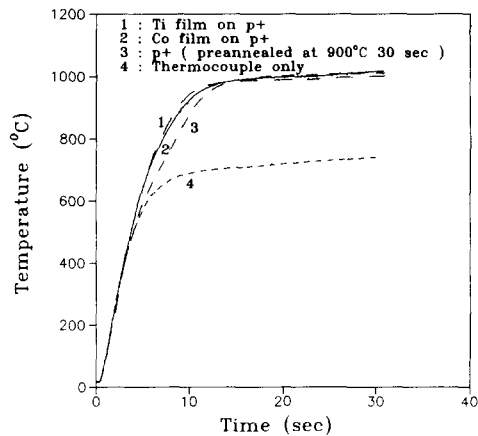


그림 5. 기관의 온도상승 속도가 열전대의 온도 상승 속도보다 큰 경우의 기관에서 기관의 표면 상태에 따른 온도 상승 효과; 개회로 제어

Fig. 5. Effect of the surface states on the temperature ramp-up rates where the temperature ramp-up rates of the substrates are higher than that of the thermocouple; an open loop control.

으며, 이 경우에는 열전대를 시편 표면에 기계적으로 접촉함으로써 시편 온도의 검출이 가능한 것으로 판단된다.

2. 표면 박막에 의한 온도 상승 효과

열전대가 paste에 의해 접촉된 p-웨이퍼를 표준시편으로 하여 그림 6과 같이 개회로 제어에 의한 공정을 행하였을 때 기관의 표면 상태에 따라서 나타나는 실제 시편의 온도를 그림 7에 나타내었다. 이 때 표준시편을 제외한 나머지 시편의 온도는 기계적 접촉에 의하여 측정하였으며  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{CoSi}_2$  등의 표면 박막이 있는 경우와 인(P)이  $\sim 10^{19}/\text{cm}^3$ 의 농도로 표면에 포함된 경우에 기관의 온도 상승 속도는 표준시편의 온도 상승 속도보다 큰 것으로 나타났다. 유지 온도에 있어서는 질화막의 경우를 제외하고는 표준시편과 큰 차이가 없었으나 온도 상승 속도에 있어서는 현저한 차이가 있어 시편에 따라 96~134°C의 오버슈트를 보였다.

산화막이나 질화막이 있는 시편의 경우에 온도 상승 속도가 표준시편보다 큰 것은 방사율( $\epsilon$ : emissivity)의 증가에 그 원인이 있는 것으로 해석되며<sup>22)</sup> 유지 온도가 높은 것은 기관과 박막의 계면에서의 복사 반사에 의한 열의 집적 때문이라 할 수 있다.<sup>24)</sup> 인(P)이 포함된 시편의 경우에 온도 상승속도가 큰

것은 자유 운반자 증가에 의한 복사 흡수량의 증가<sup>1)</sup>에 기인하는 것으로 해석할 수 있으며, 실리사이드 박막이 있는 경우는 박막 내의 자유 전자에 의한 복사 흡수로 인해 온도상승속도가 증가하는 것으로 생각된다.

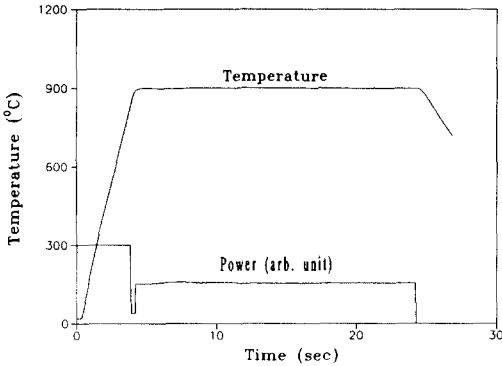


그림 6. 폐회로 제어에 의하여 표준 시편(접착제로 열전대를 p- 웨이퍼 위에 부착함)의 온도를 900°C로 하는 공정에서 온도와 전압

Fig. 6. Power drive and the temperature profile of the standard sample, a p- wafer on which a thermocouple is mounted with a paste when process of 900°C is controlled by a closed loop configuration.

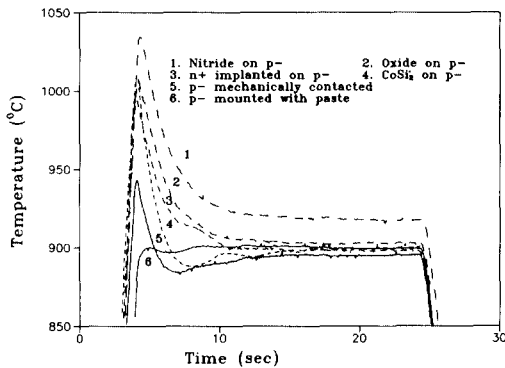


그림 7. 그림6과 같은 폐회로 제어를 한 경우 표면 상태에 따른 기판의 온도 변화 1, 2, 3, 4, 5 : 기계적 접촉, 6 : paste에 의한 접촉(표준 시편)

Fig. 7. Temperature profiles of the substrates with different surface states where the applied power was controlled by the scheme of Fig. 6, closed loop configuration. 1, 2, 3, 4, 5 : by a mechanical contact, 6 : by a paste contact.

급속열처리에서는 온도와 시간을 엄격하게 통제해야 하는데<sup>1)</sup> 표준시편이 그림 6과 같이 정확히 통제되는 경우라 하더라도 기판의 표면 상태가 다를 경우 실제 시편에 있어서는 그림 7과 같이 상당한 양의 오버슈트가 생길 수 있다. 따라서 실제 시편의 온도가 표준 시편과 같다고 가정하는 것은 중대한 오류이며, 실제 시편의 온도를 측정함으로써 표준 시편과의 온도 차이를 보정해 주어야 한다.

3. 온도 보정의 가능성

앞의 실험으로부터 관찰된 실제 시편에서의 오버슈트는 특히 열활성화 반응에 있어서 큰 영향을 미칠 것이다<sup>1)</sup> 따라서 급속 열처리를 이용한 열활성화 반응에 대한 연구에서는 시편 표면 상태에 따른 온도 상승 효과를 반드시 고려하여야 하며, 표준 시편과 실제 시편의 온도 차이를 보정해 주어야 한다.

표1에서 시편의 종류에 따른 온도 상승 속도, 오버슈트 온도, 유지 온도를 나타내었다. 실제 시편의 온

표 1. 그림6과 같은 폐회로 제어를 한 경우 기판의 표면 상태에 따른 여러 시편의 온도 상승속도, 오버슈트 온도, 유지 온도의 비교  
1, 2, 3, 4, 5 : 기계적 접촉, 6 : paste에 의한 접촉(표준 시편)

Table 1. Comparisons of the ramp-up rate, the overshooted temperature, and the steady state temperature of the various samples with different surface state. where the applied power was controlled by the scheme of Fig. 6, closed loop configuration. 1, 2, 3, 4, 5 : by a mechanical contact, 6 : by a paste contact.

Types	Ramp-up Rate °C / s	Overshooted Temp. °C	Steady State Temp.
1	260	134	917-920
2	260	106	901-903
3	277	96	897-899
4	244	110	893-899
5	277	43	893-895
6	193	0	900

\* 1 : nitride on p- substrate [about 160nm]  
2 : oxide on p- substrate [about 250nm]  
3 : n+ implanted on p- substrate  
4 : Co silicide on p- substrate [about 200nm]  
5 : p- substrate mechanically contacted  
6 : p- substrate mounted with paste

도를 정확히 측정하는 것이 온도 보정에 있어서 가장 중요하다. p- 웨이퍼의 경우 열전대의 기계적 접촉에 의하여 측정된 온도는 43°C의 오버슈트를 보였는데, 이는 앞의 실험에서 밝혀진 시편 온도에 대한 과대 평가 때문이다. 즉 세히로 제어에 의한 경우 초기에 온도를 상승시킬 때 램프에 가하는 전압(163 V)은 매우 높기 때문에 계산된 임계 온도는 약 1200°C (p- 웨이퍼의 경우)가 되고 따라서 그림 7처럼 공정을 900°C에서 행한 경우는 실제 p- 웨이퍼의 온도를 과대 평가하는 구간이다.

다른 시편들의 경우에는 앞에서도 언급했듯이 열전대보다 온도 상승 속도가 크므로 거의 실제 온도에 가까운 측정이 이루어 졌다고 여겨진다. 따라서 본 실험에서와 같이 표준 시편으로 제어하는 경우 실험 시편의 온도를 직접 측정함으로써 표준 시편과의 온도 차이를 보정할 수 있을 것으로 판단된다. 그런데 오버슈트나 유지 온도의 차이는 온도 상승 속도뿐만 아니라 열처리 온도, 박막의 두께 등에 따라 달라질 수 있으므로 이에 대한 보다 세밀한 연구가 요구된다.

#### IV. 결 론

할로겐 램프에 의하여 급속 열처리할 때

(1) 기관 표면에 존재하는 산화막, 질화막, 불순물, 전도성 박막은 기관의 온도 상승 속도를 현저히 상승시키며, 이러한 박막이 없는 표준 시편으로 온도 제어를 할 경우 100°C 이상의 오버슈트가 유발된다.

(2) 기관의 온도 상승 속도가 열전대의 온도 상승 속도보다 큰 경우, 즉 표면에 산화막, 질화막, 불순물, 전도성 박막등이 있는 경우에는 열전대의 기계적 접촉에 의하여 접촉계에 의한 경우보다 정확히 시편의 온도를 측정할 수 있다.

(3) 진공에서는 질소 분위기에서 보다 온도 상승 속도가 크며 유지 온도도 높으나 고온으로 갈수록 이러한 온도 차이가 없어져 950°C 이상의 온도에서는 열전대의 기계적 접촉에 의한 온도 측정이 가능한 것으로 나타났다.

#### 參 考 文 獻

[1] C-Y Lu, J.J. Sung, and C-H D. Yu, "Sub-micrometer Salicide CMOS Devices with Self-Aligned Shallow/Deep Junctions," *IEEE Electron Dev. Lett.*, vol. 10, no. 11, Nov. 1989.

- [2] J. Kato and S. Iwamatsu, "Rapid Annealing Using Halogen Lamps," *J. Electrochem. Soc.: Solid-State Sci. and Technol.*, May 1984.
- [3] S.P. Murarka, *Silicides for VLSI Applications*, 1983, p. 2.
- [4] S.R. Wilson, W.M. Paulson, and R.B. Gregory, "Rapid Annealing Technology for Future VLSI," *Solid State Technol.*, June 1985.
- [5] P.D. Scorelli and E.J. Spurgin, "Pulsed thermal annealing of ion-implanted silicon," *J. Appl. Phys.* 54(5), May 1983.
- [6] H.A. Lord, "Thermal and Stress Analysis of Semiconductor Wafers in a Rapid Thermal Processing Oven," *IEEE Trans. on Semicon. Manufacturing*, vol. 1, no. 3, Aug. 1988.
- [7] T.E. Seidel, D.J. Lischner, C.S. Pai, and S.S. Lau, "Temperature transients in heavily doped and undoped silicon using rapid thermal annealing," *J. Appl. Phys.* 57(4), 15 Feb. 1985.
- [8] S.A. Campbell, et. al., "Steady-State Thermal Uniformity and Gas Flow Patterns in a Rapid Thermal Processing Chamber," *IEEE Trans. on Semicon, Manufacturing*, vol. 4, no. 1, Feb. 1991.
- [9] G. Bentini, L. Corraera, and C. Donolato, "Defects introduced in silicon wafers during rapid isothermal annealing: Thermoelastic and thermoplastic effects," *J. Appl. Phys.*, 56(10), 15 Nov. 1984.
- [10] R.S. Gyurcsik, T.J. Riley, and F.Y. Sorrell, "A Model for Rapid Thermal Processing: Achieving Uniformity Through Lamp Control," *IEEE Trans. on Semicon. Manufacturing*, vol. 4, no. 1, Feb. 1991.
- [11] F.Y. Sorrel, J.A. Harris, and R.S. Gureski, "A Global Model for Rapid Thermal Processors," *IEEE Trans. on Semicon, Manufacturing*, vol. 3, no. 4, Nov. 1990.
- [12] K. Shenai, "Manufacturability Issues Related to Transient Thermal Annealing of Titanium Silicide Films in a Rapid Thermal Processor," *IEEE Trans. on Semicon. Manufacturing*, vol. 4, no. 1, Feb 1991.
- [13] G.G. Bentini and L. Corraera, "Analysis of thermal stresses induced in silicon during xenon arc lamp flash annealing," *J. Appl. Phys.*, 15(4), April 1983.

[14] T.E. Kazior, S.K. Brierley, and F.J. Piekarski, "Capless Rapid Thermal Annealing of GaAs Using a Graphite Suceptor," *IEEE Trans. on Semicon, Manufacturing*, vol. 4, no. 1, Feb. 1991.

[15] Y. Uoochi, Y. Shioya, and M. Maeda, "Temperature Transients of Ion-Implanted Silicon Wafers during Rapid Thermal Annealing," *J. Electrochem. Soc.: Solid-State Sci. and Technol.*, Aug. 1987.

[16] G.A. Ruggles, et. al., "Sample geometry effects in rapid thermal annealing," *J. Vac., Sci. Techno.* B8(2), Mar/Apr 1990.

[17] Manual on the use of thermocouples in temperature measurement, ASTM, pp. 141-151, 1977.

[18] 최인규, 조성환, 노승탁, 열전달, 보성문화사, 1981, pp. 16-19

[19] 조병진, 고속 열처리 장치의 설계 연구와 온도 제어, 석사학위논문, 1987, p. 42.

[20] R. Siegel and J.R. Howell, *Thermal Radiation Heat Transfer*, 2nd ed., p. 127, 1981.

[21] R.S. Muller and T.I. Kamins, *Device Electronics for Integrated Circuits*, 2nd ed., 1986, pp. 20-21.

[22] 최인규, 조성환, 노승탁, 열전달, 보성문화사 1981, p. 64

[23] E.M. Sparrow and R.D. Cess, *Radiation Heat Transfer*, McGraw-Hill Co., pp. 35-51, 1978.

[24] C.H. Kyung, "Temperature Profile of a Silicon-on-Insulator Multilayer Structure in Silicon Recrystallization with Incoherent Light Source," *IEEE Trans. on Electron Dev.*, vol. ed-31, no. 12, Dec. 1984.

감사의 글

본 연구는 RETCAM과 1990년도 신소재 공동 연구소를 통한 교육부 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

著 者 紹 介



李石運(準會員)  
1967年 6月 18日生. 1990年 서울대학교 금속공학과 졸업. 현재 서울대학교 금속공학과 석사과정 주관심분야는 실리콘사이드와 얇은 집합의 형성 등임.

閔庚漢 (正會員) 第28卷 A編 第3號 參照  
현재 서울대학교 금속공학과 박사과정

朱承基 (正會員) 第28卷 A編 第3號 參照  
현재 서울대학교 금속공학과 부교수