



<연구논문>

한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 46, No. 6, 2013.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2013.46.6.283>

기-액 상변화 열전달식 고온 히터 플레이트의 작동 특성과 성능에 관한 연구

강환국^{a*}, 임광빈^b

^a동은에이티에스, ^b신안산대학교 기계과

A Study on the Heat Transfer Characteristics and Performance of the High Temperature Range Heater Plate Using Liquid-Vapor Phase Change Heat Transfer

Hwan-Kook Kang^{a*}, Kwang-Bin Yim^b

^aDonggeun A.T.S, Bucheon 421-808, Korea

^bDept. of Mechanical Engineering, Shin Ansan University, Ansan 425-792, Korea

(Received October 24, 2013 ; revised November 15, 2013 ; accepted November 30, 2013)

Abstract

The experimental study for the temperature uniformity on the wafer using liquid-vapor phase heat transfer mechanism is performed. For the experiment, the heater plate which is consist of stainless steel container, working fluid and electrical heater is designed, manufactured and tested at the range of 600 to 850°C. The results showed that the phase change type heater plate was much more uniform and stable temperature on the heater plate surface and wafer than the uniform heat flux type heater plate at the atmospheric condition. Also, the results of 300 mm outer diameter of heater plate showed that the same temperature uniformity compared with 230 mm.

Keywords : Heater plate, Liquid-vapor phase change, Uniform temperature, Uniform heat flux

1. 서 론

반도체 공정을 통해 각종 소재를 웨이퍼(wafer)상에 증착(deposition)하기 위해 CVD(Chemical Vapor Deposition), PVD(Physical Vapor Deposition) 공정 및 스퍼터(sputter) 공정이 많이 이용되고 있다. 이러한 공정 장비에서는 코팅층의 우수한 특성과 웨이퍼의 변형 방지 등을 고려한 고품질을 얻기 위하여 가열장치인 히터 플레이트의 매우 균일한 온도 분포가 요구되고 있다¹⁾. 이는 증발되는 소재와 웨이퍼 또는 이미 증착된 소재와의 완전 결합을 위한 최적의 증착조건을 달성하는 데 필요하기 때문이다. 예를 들어 CuInGaSe₂ 및 CdTe 등 다원소 화합물

흡수체를 이용한 솔라셀(solar cell)의 경우, 웨이퍼의 공정온도를 일정한 상태로 유지시켜야 할 뿐만 아니라, 웨이퍼 상의 온도구배를 최소화시킴으로써 화합물 반도체 상변이를 웨이퍼(기판)의 전면에 균일하게 하여 변환효율의 증대를 얻고자 하고 있다. 또한 웨이퍼를 요구되는 온도로 균일하게 가열하여 빠른 시간 내에 유지하는 것은 웨이퍼의 특성뿐 아니라 반도체 소자의 생산수율에 직접적인 영향을 미치며 점차 대면적화 하는 추세이다. 온도 구배에 미치는 인자들로써는 각 구성물질의 열적물성, 내부 진공도, 가열면의 열적 상태, 열전달 요소 간 온도 등이며, 상호 매우 복잡하게 관련되어 있다. 그 동안 관련 반응기의 온도와 대류 열전달 계수 및 열복사의 영향에 관한 연구²⁻⁴⁾, 반도체용 히터 플레이트의 열전달 해석⁵⁾, 챔버 내부 자연대류의 온도균

*Corresponding author. E-mail : hkkang67@hanmail.net

일도에 미치는 영향 및 서셉터(susceptor) 설계와 관련한 연구⁶⁻⁹⁾ 등 많은 연구가 수행되었다. 최근 균일한 온도를 얻기 위해 균일한 열유속을 발생하는 발열체를 적절하게 배치한 후 개별적으로 제어하는 방법이 개발되었다. 그러나 웨이퍼 크기 증대 및 공정의 정밀도 향상을 위해 히터 패턴만으로 온도 균일도를 유지하기는 어려우며 베이킹 공정과 같이 챔버 내부의 자연대류 유동이 발생하는 경우 국부적으로 표면 온도차이 등이 발생하는 것으로 알려져 있다⁶⁾. 관련 연구에 의하면 균일한 열유속을 갖는 히터 플레이트에서 웨이퍼와의 사이에 자연대류 유동으로 인하여 셀 유동이 발생하여 진공상태에 비하여 온도편차가 크게 발생하며 또한 히터 플레이트의 온도 편차도 발생하였다⁶⁾. 이 때 가열 벽면 조건이 등온으로 유지하면 피가열물의 온도 균일도를 크게 향상할 수 있는 것으로 파악되었다⁵⁾. 그러나 전기적 발열체를 사용하는 열전달 방법은 균일 열유속 조건의 가열방법으로써 다수의 히터 패턴을 적용하더라도 등온의 가열벽면을 유지하는 것은 불가능하다. 일반적으로 등온을 얻기 위한 방법으로는 작동유체의 상변화 과정을 이용되고 있다. 저온에서는 얼음의 용해과정에서의 등온벽을 얻을 수 있으며 섭씨 수백도의 고온에서 등온가열 조건을 얻는 방법으로써 작동유체의 기-액 상변화 과정이 적용된 튜브로가 개발되었으며 높은 등온성을 확인할 수 있었다¹⁰⁾. 본 연구에서는 그 동안의 연구 결과를 기초로 기-액 상변화 열전달 과정에서의 등온성을 갖는 200 mm용 고온 히터 플레이트를 설계, 제작하여 히터 플레이트의 등온성 및 웨이퍼 상에서의 온도 특성에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고 기존의 균일 열유속 가열 구조의 히터 플레이트를 이용한 웨이퍼상에서 측정한 실험결과와 비교하였다. 또한 동일한 원리의 지름이 증가된 300 mm용 히터 플레이트를 대상으로 등온성에 대한 실험을 수행함으로써 등온 히터 플레이트의 적용성 및 성능에 대하여 고찰하였다.

2. 실험장치와 실험방법

본 연구에서 적용한 등온의 가열조건은 금속 재료의 플레이트 내부의 밀폐된 공간에서 작동유체의 기-액 상변화 과정에서 나타나는 등온성을 이용하였다. 밀폐된 공간내부의 포화상태의 액체가 가열원으로부터 열을 받아 기화된 증기는 증기압차에 의하여 상대적으로 온도가 낮은 피가열물과 접촉한 후 벽면에서 응축하며 열을 방출하고 액화된 작동유체는 가열원으로 귀환하게 된다. 따라서 밀폐공

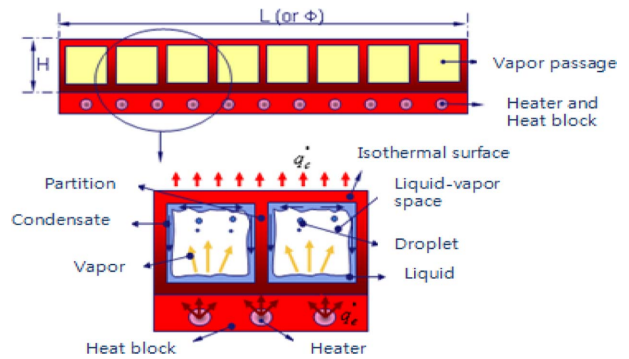


Fig. 1. Operating of the liquid-vapor phase change heater plate.

간은 동일한 증기압을 유지함으로써 등온상태를 유지할 수 있으며 그림 1은 이러한 과정을 나타내고 있다. 그림에서 하부벽에 설치된 가열원으로부터 발생된 열이 증기관로 내부에 있는 포화상태의 작동유체를 가열하면 작동유체는 기화하여 증기압 차에 의하여 상부벽으로 이동한다. 상부벽에서 증기는 열을 방출하고 응축하며 이 작동유체는 측면의 벽에 설치된 모세관 구조물의 모세관력과 중력에 의하여 가열원으로 귀환된다. 한편 증기공간은 일정한 증기압에서 포화상태를 이루며 상부벽면에서는 응축이 발생함에 따라 등온을 유지하게 된다.

본 연구에서 사용한 이러한 구조는 등온의 벽면을 형성할 수 있기 때문에 웨이퍼 가열면에서 고정도의 등온성을 확보할 수 있다. 또한 히터 플레이트 내부에는 기-액 상태의 공간을 확보하게 함으로써 동일한 부피와 비교하여 질량 감소에 의한 열용량 감소로 가열시간의 단축과 함께 가열과정에서도 열확산에 의한 온도 편차가 감소할 것으로 판단하였다. 일반적으로 이러한 기-액 상변화 열전달에 의한 열전달 소자를 히트파이프라 부르며 본 과제에서는 히트파이프의 설계 방법을 적용하였다¹¹⁾.

본 연구에서는 웨이퍼를 약 600~850°C 범위의 고온까지 가열하는 히터플레이트를 연구 대상으로 하였으며 히터 플레이트의 작동온도는 최고 약 850~900°C의 온도 범위로 설정하였다. 이에 따라 용기 재료와 용기의 구조, 작동유체의 종류, 충전량, 워 재료선정과 구조설계 및 작동유체의 정제, 고진공배기, 충전과 마감 등의 제작과정이 요구된다. 작동 온도 범위를 고려하여 작동유체로 나트륨을 선정하였으며 각 설계와 제작과정은 고온 히트파이프의 설계 및 제작과 관련된 문헌을 참고하였다¹¹⁾. 히터 플레이트는 외경 230 mm와 330 mm의 두 가지를 제작하였다. 발열체는 지름 6.8 mm의 스텔레스 히터가 그림 2와 같은 패턴으로 하부에 설치되어 있다.

제작된 고온 히터플레이트의 작동 웨이퍼의 열전

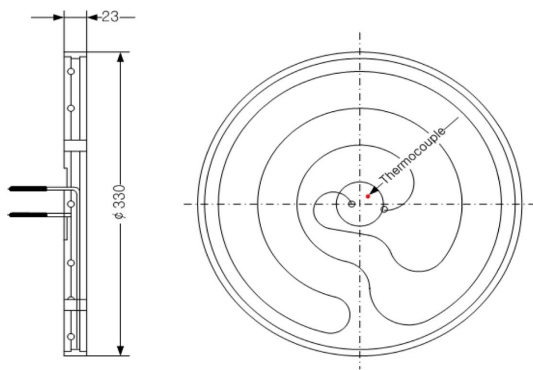


Fig. 2. Cross-sectional view and heater pattern for the heater plate.

Table 1. Specifications of heater plate for the test

Item	Specification		
Outer diameter	230 mm	330 mm	
Thickness	30 mm	30 mm	23 mm
Material	SUS 316		
Working fluid	Not applicable	Sodium	
Wick structure	Not applicable	Stainless steel, #50	
Weight	9.2 kg	4.8 kg	6.3 kg
Heating element	Stainless steel sheath heater, ϕ 6.8 mm		

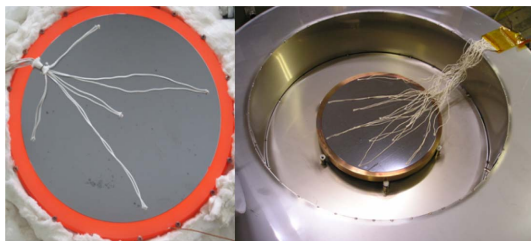


Fig. 3. Heater plate and TC wafer in the test chamber.

달 특성을 파악하고자 실제 반도체 공정과 유사한 구조의 실험 장치를 제작하였다. 히터 플레이트를 수용하는 스텐레스 재질로 제작하고 히터 플레이트 외부는 고온 단열재로 단열처리 하였다. 챔버는 직경이 서로 다른 히터플레이트를 모두 수용하도록 제작하였으며 히터 플레이트를 설치한 후 그 상부에는 웨이퍼 표면에 K형 열전대가 부착된 TC 웨이퍼(Prime technology Co.)를 약 2 mm 정도 상부에 설치하였다. 그림 3은 챔버 내부의 히터 플레이트와 그 상부에 설치된 TC 웨이퍼가 설치된 상태를 보여주고 있다. 좌측 그림은 230 mm 히터 플레이트가 약 800°C에서 작동할 때의 작동상태를 함께 보여준다. TC 웨이퍼는 히터 플레이트의 각각 200 mm 및 300 mm로써 히터플레이트보다 작으며 그림 4에서 보는 것과 같이 200 mm의 경우에는

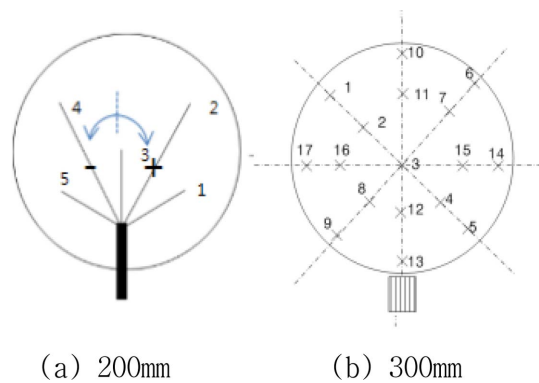


Fig. 4. Position of thermocouples on the wafer.

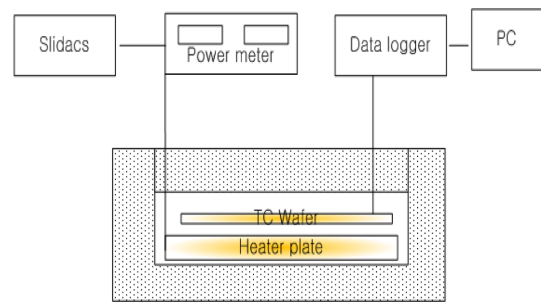


Fig. 5. Schematic diagram for the experiment.

5개, 300 mm의 경우에는 13개의 열전대가 설치되어 있다. 한편 230 mm 히터 플레이트의 경우에는 히터 플레이트 표면의 등온성과 작동특성을 파악하고자 표면에 K형 열전대(ϕ 0.12 mm)를 플레이트의 표면에 세라믹 본드로 직접 설치하였다. 측정점은 히터 플레이트 중심점으로부터 2개의 서로 다른 원주상에 수직으로 교차하도록 각 4개 총 9지점이다. 한편 모든 히터 플레이트의 중앙부에는 온도 제어를 위한 K형 시스 열전대(ϕ 3 mm)를 설치하였다.

실험은 히터 플레이트와 TC 웨이퍼를 설치한 후 챔버의 상부에 뚜껑을 닫아 밀폐한 후 대기압 상태에서 수행하였다. 그림 5는 실험 장치의 개략도를 보여준다. 히터 플레이트에 가해진 열적 부하는 파워메타(WT-210, Yokogawa)로 측정하였으며 공급 전력은 슬라이다스 및 온도조절장치를 이용하였다. 히터 플레이트 및 웨이퍼의 온도는 데이터로거(DR-230, Yokogawa)로 측정하였다. 실험은 230 mm 히터 플레이트를 대상으로 열적 조건에 따른 작동 및 성능실험을 먼저 수행하였다. 대기압 상태에서 전기 발열체인 히터플레이트와 웨이퍼의 시간에 대한 천이 특성 및 히터 플레이트 표면 온도분포 특성을 각각 측정하였다. 시간에 따른 천이 열전달 실험을 수행하는 경우에는 슬라이다스로 일정한 전압을 가한 상태에서 일정한 시간 간격으로 각 측정점

의 온도를 측정하였다. 정상상태에서의 열적 특성을 파악하고자 할 때에는 전력량을 제어하여 일정한 온도가 유지되도록 한 상태에서 모든 측정점의 온도가 정상상태에 이르면 각 측정점에서 20개의 온도값을 기록하고 측정값을 평균 처리하였다. 330 mm 히터 플레이트의 경우에도 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 한편 230 mm의 경우에는 기존의 구조인 플레이트 하부에 시스형 히터가 설치된 균일 열유속 조건의 히터 플레이트(월드 이비텍)를 대상으로 동일한 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 균일열유속 히터 플레이트의 온도 분포

그림 6은 기존의 균일 열유속 히터 플레이트에 전기적 부하를 가하여 히터 플레이트가 가열될 때 히터 플레이트 및 웨이퍼의 온도를 측정한 결과를 보여준다. 그림에서 히터 플레이트의 온도 상승에 따라 웨이퍼의 온도가 상승하며 약 870°C에 이르렀을 때 웨이퍼의 온도는 약 600°C로 상승하여 약 270°C의 온도차를 보이고 있다. 한편 웨이퍼 온도는 온도 증가에 따라 온도차가 점차 증가하며 측정점간 온도차도 증가하여 웨이퍼 평균온도 약 400°C에서 약 20°C, 약 600°C에서는 약 30°C의 온도차를 보임으로써 온도 증가에 따라 온도편차도 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 웨이퍼의 온도가 약 710°C의 정상상태에 이르렀을 때의 각 측정점 온도를 나타낸 그림이다. 그림에서 표면온도차는 최대 약 40°C 이상의 온도 편차를 보이고 있으며 웨이퍼상 온도는 중앙점을 중심으로 동일한 거리의 원주상으로 최대 편차가 발생하고 있다. 위치에 따른 영향을 파악하고자 웨이퍼를 원주방향으로 회전하여 측정점의 위치를 변경하며 실험하였으나 유사한 결과를 나타냄으로써 일정한 온도 패턴을 파악하기는 어려웠다. 자

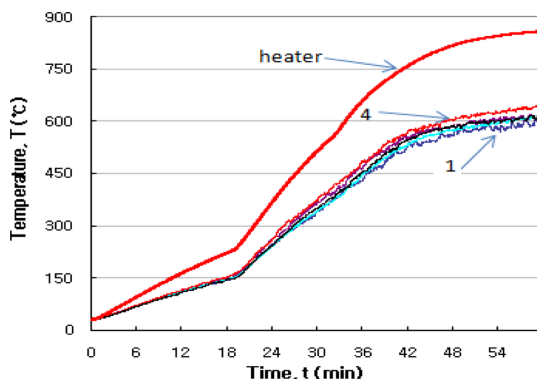


Fig. 6. Temperature variation with time during heated up.

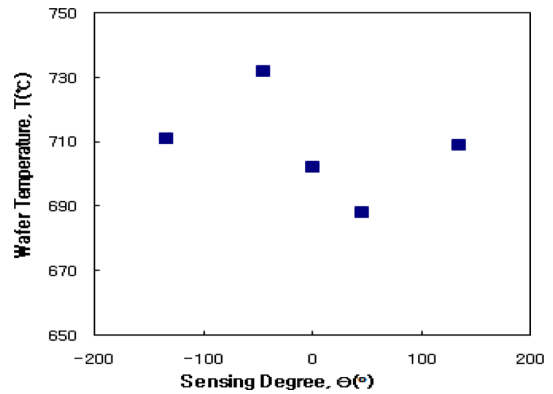


Fig. 7. Temperature distribution on the wafer.

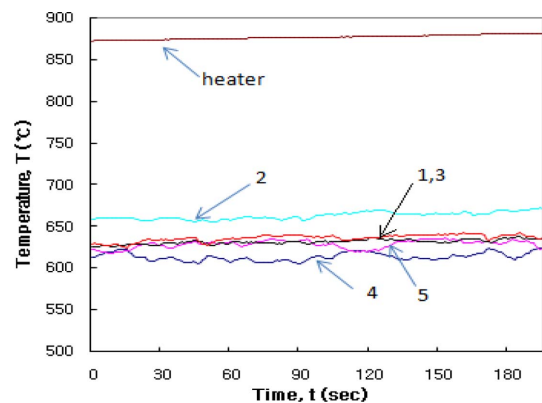


Fig. 8. Temperature variation with time.

연대류 유동에 관한 실험과 수치해석에 의한 관련 연구에 의하면 온도차 증가에 따라 히터 플레이트와 피가열물간 표면사이에서 자연대류 셀 유동이 발생함에 따라 피가열물의 표면 온도차가 발생하며 그 형태도 매우 불규칙하게 나타나고 있으며 본 실험의 결과도 이러한 결과로 판단된다.

그림 8은 히터 플레이트의 온도가 비교적 시간에 대하여 일정한 정상상태에서 시간에 대한 온도 분포를 보여준다. 그림에서 각 측정점의 온도는 시간에 대하여 진동하고 있음을 볼 수 있으며 이러한 이유는 앞에서 설명한 것과 같이 히터 플레이트와 웨이퍼 사이 공기의 셀 유동에 의한 것으로 판단된다. 그림에서 중심점인 1번 온도는 비교적 시간에 대하여 일정한 온도를 보임으로서 안정적인 유동을 나타내는 것으로 보인다. 한편 인접한 4, 5번의 위치에서 상대적으로 온도 진동폭이 크게 증가하여 최대 약 15°C에 이르며 이러한 결과는 자연대류에 의한 유동이 상대적으로 증가한 것으로 추정된다. 그러나 1번을 제외하면 모든 측정점이 반경방향으로 동일한 측정점임을 고려하면 관련 연구^{5,6)}의 결과에서 보는 것과 같이 위치에 따른 온도 진폭 변화의 규칙성이나 위치에 따른 셀 유동 패턴을 설명

하기는 어려울 것으로 판단된다.

3.2 상변화 열전달식 히터 플레이트의 작동 특성과 등온성

본 절에서는 먼저 나트륨을 작동유체로 하는 상변화 열전달식 히터 플레이트의 작동특성과 온도 분포의 특성을 파악하고자 히터 플레이트의 상부 표면에 설치된 열전대로부터 측정된 결과를 고찰하였다. 그림 9는 본 연구에서 제작한 기-액 상변화형 히터 플레이트가 가열될 때 히터 플레이트의 시간에 따른 온도를 측정할 결과를 보여준다. 그림과 같이 전기적 부하가 가해짐에 따라 온도 상승과정 및 설정된 온도에 이르렀을 때의 온도 분포를 측정하고자 하였으며 그림은 600°C와 820°C에서 일정한 온도를 유지하도록 제어한 경우의 결과이다. 그림에서 온도가 상승하는 동안 모든 측정점의 온도가 매우 안정적으로 일정한 온도를 유지하며 상승하고 있으며 정상상태에 도달함에 따라 등온성은 더욱 향상됨을 확인할 수 있다. 다만 초기 약 550°C 미만에서는 측정점의 온도차가 다소 크게 나타나며 이러한 결과는 작동유체인 나트륨의 포화압력이 0.1 bar 미만의 저압으로써, 발생된 증기의 증기압이 낮아 증기의 유동이 플레이트 내부 전체 공간에 이르지 못하는 온도 영역으로 판단된다. 이러한 이유로 일반적으로 나트륨을 작동유체로 사용하는 히트파이프는 600°C 이상이 작동온도범위로 추천되며 본 연구에서도 동일한 결과로 판단된다¹¹⁾. 한편 정상상태에 이르면 챔버 내부의 유동도 정상상태에 이르고 챔버와의 온도차 감소에 의한 대류 냉각의 영향도 감소하게 되며 이에 따라 각 측정점간의 온도 편차도 감소함을 알 수 있다. 또한 이 후 820°C에 이르는 구간에서는 가열과정 및 정상상태에서도 매우 안정된 온도 및 낮은 온도편차를 보이고 있다.

그림 10은 히터 플레이트가 정상상태에 도달하였을 때 플레이트 표면의 온도를 측정한 결과를 보여

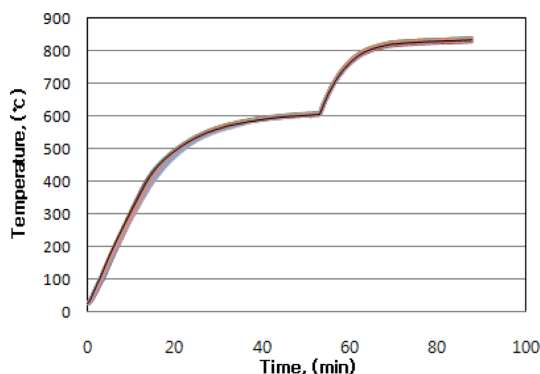


Fig. 9. Start up characteristics for the phase change heater plate.

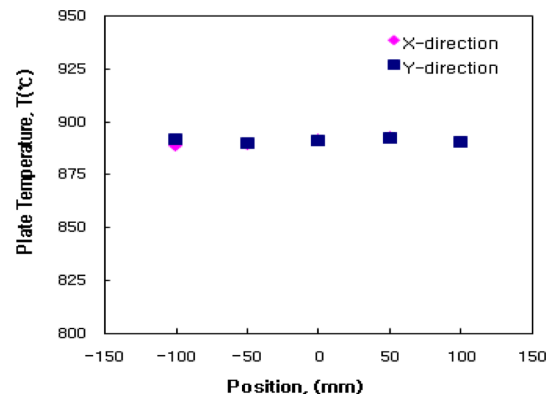


Fig. 10. Wall temperature distribution of the phase change heater plate.

준다. 그림에서 작동온도 약 890°C의 고온에서도 중심점을 기준으로 수직 교차하는 각 측정점의 최대 온도차는 전 표면에 대하여 4.3°C, 평균 온도에 대한 온도 편차를 $\pm 0.25\%$ 로써 매우 고온임에도 불구하고 높은 등온성을 보여 계측오류를 고려하더라도 고정도의 등온성을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 상변화 열전달 히터 플레이트는 등온의 가열원을 제공하는 장치로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 상변화식 히터 플레이트의 웨이퍼 온도분포

그림 11은 앞 절에서 사용한 230 mm 상변화 열전달식 히터 플레이트의 상부에 TC 웨이퍼를 설치하고 가열과정에서의 온도 측정 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 히터 플레이트의 온도는 약 20분간 약 600도 이상 상승하고 있으며 이 때 웨이퍼 온도는 약 520°C로 상승하고 있다. 한편 히터 플레이트의 온도가 증가함에 따라 웨이퍼 표면온도와의 온도차도 점차 증가하여 히터 플레이트 온도가 약 830°C일 때 웨이퍼 온도는 약 600°C 정도로 약 230°C 정도의 온도차를 보여 3.1절의 결과보다 상

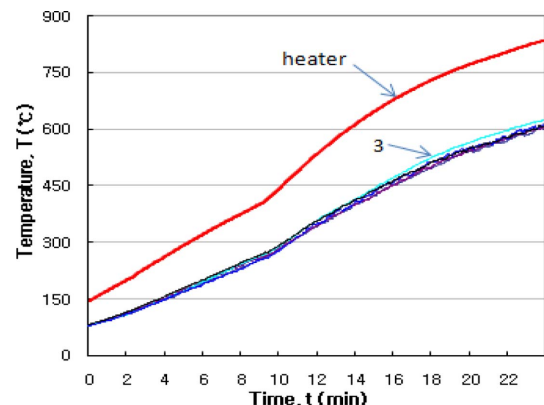


Fig. 11. Temperature variation with time during heated up for the phase change heater plate.

대적으로 낮은 온도차를 보이고 있다. 그림에서 온도 상승에 따라 웨이퍼 온도 편차는 증가하나 3.1절의 결과와는 다르게 온도 편차의 증가율과 함께 온도 편차도 상대적으로 작음을 볼 수 있다. 그림에서 히터 플레이트의 온도가 약 450°C에 이르며 온도상승률이 감소하는 구간에서는 온도 편차도 감소한 후 다시 온도상승률이 증가함에 따라 온도편차도 다소 증가하나 3번 온도를 제외하면 온도의 진동 및 온도 편차도 매우 미소함을 알 수 있다.

그림 12는 웨이퍼 온도가 정상상태에 이르렀을 때 플레이트 상부의 TC 웨이퍼 각 측정점의 측정 결과를 나타낸 그림이다. 웨이퍼 평균 표면온도 약 680°C에서 중심점을 중심으로 온도차가 나타나고 있으며 이때 약 10°C의 최대 온도차로써 3.1절의 균일 열유속 가열 조건의 30°C에 비하여 매우 높은 등온성을 나타냄을 확인할 수 있다.

그림 13은 웨이퍼 온도가 정상상태일 때 시간에 대한 각 측정점의 온도를 나타낸다. 그림에서 앞의 결과와 같이 시간에 대한 온도 진동폭은 위치점에 따라 다르나 3.1절의 경우보다는 다소 낮아져 최대 약 10°C를 보이고 있다. 앞절에서 설명한 것과 같

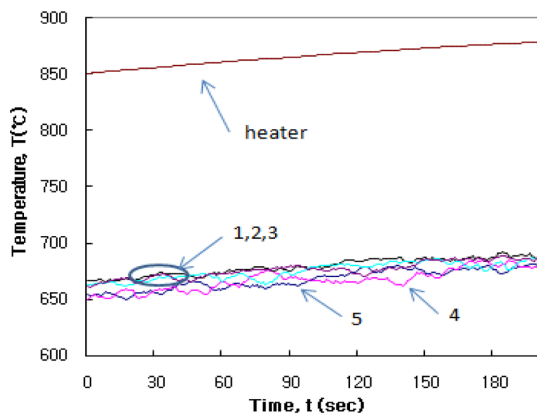


Fig. 12. Temperature variation with time for the phase change heater plate.

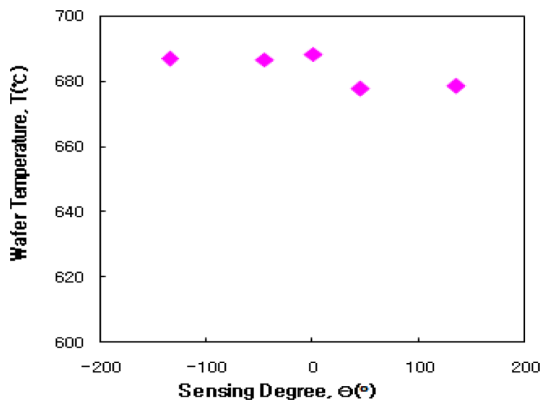


Fig. 13. Temperature distribution on the wafer for the phase change heater plate.

이 히터 플레이트와 웨이퍼 사이의 높은 온도차에 의한 자연대류 셀 유동의 결과로 보인다. 그러나 측정점간 온도 편차는 3.1절의 결과보다 상대적으로 매우 낮게 나타나고 있다. 이러한 결과는 플레이트와 웨이퍼간 온도차가 커 부력에 의한 강한 자연대류가 발생할 수 있지만 등온 벽면의 가열조건에서는 플레이트의 원주방향으로의 온도차가 극소화됨에 따라 국부적인 셀유동이 발생하는 경우에도 유동의 강도가 완화되어 온도차가 감소하는 것으로 설명되며 관련 수치해석적 연구에서의 결과에서도 확인할 수 있다⁵⁾.

3.4 330 mm 상변화 열전달 히터 플레이트의 온도 특성

그림 14에 앞 절과 동일한 방법으로 330 mm 상변화 열전달식 히터 플레이트가 정상상태에서 작동할 때 히터 플레이트 상부에 설치된 총 13개의 300 mm 웨이퍼 상부 측정점에서 측정된 온도를 나타내었으며 그림 15에 각각의 평균온도를 기준으로 각 측정점의 평균온도와의 온도차를 위치에 따라 도시하였다. 그림에서 전체적으로 측정점이 매우 균일한 온도를 나타냄으로써 높은 등온성을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 또한 300 mm로 웨이퍼 면적이 증가하였으며 별도로 히터 패턴의 변경이나 영역별로 제어를 하지 않았음에도 불구하고 200 mm의 경우와 유사하게 최대 약 11°C의 등온성을 보이고 있다. 따라서 등온의 가열원을 확보하는 것이 웨이퍼의 등온성 확보의 중요한 방법이며 또한 대면적화하는 경우에도 이러한 방법이 매우 효과적임을 확인할 수 있다. 한편 그림에서 측정점 3, 6, 14번 위치에서는 그 주변온도에 비하여 다소 낮게 나타나며 이러한 편차의 원인을 파악하고자 수차례의 반복실험과 많은 실험 자료를 기초로 유동 패턴 및 온도 분포의 특성을 이해하고 일반화하고자 하였으

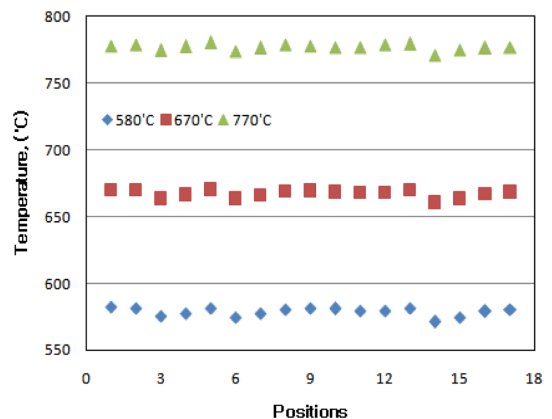


Fig. 14. Temperature distribution on the wafer for the 300 mm phase change heater plate.

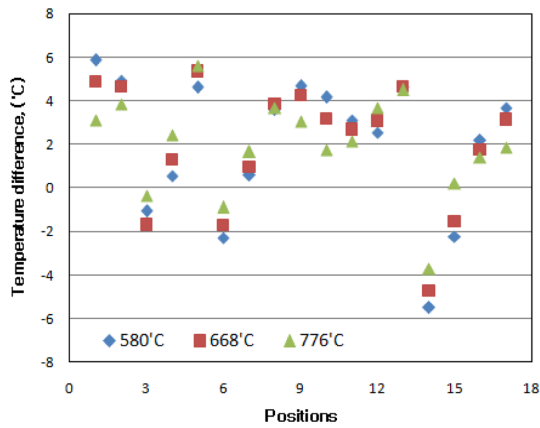


Fig. 15. Temperature difference on the wafer for the 300 mm phase change heater plate.

나 적절한 모델을 찾기는 어려웠다. 또한 플레이트의 작동온도가 증가함에 따라 온도차는 오히려 다소 감소하나 별다른 상관성을 파악하기 어려웠다. 이러한 일부 측정점에서의 낮은 온도값은 앞 절의 결과와 같이 상향유동과 하향유동이 일어나는 버나드셀(Vernard cell) 유동에 의한 것으로 예측되며 대류 유동에 의한 국부적인 냉각효과를 나타냈기 때문으로 파악된다. 이러한 국부적인 유동이 발생하는 지점의 위치나 유동에 의한 온도 편차의 크기를 예측하는 것은 등온성 향상을 위한 앞으로의 과제로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 반도체용 웨이퍼의 등온성 향상을 위한 방법으로 기-액 상변화 열전달을 이용하는 히터 플레이트의 등온성 및 웨이퍼 표면에서의 온도 특성에 대하여 실험을 수행하였다. 실험결과는 동일한 지름을 갖는 기존의 균일 열유속 가열 구조의 히터 플레이트의 성능과 비교하였다. 또한 지름이 증가된 동일한 원리의 히터 플레이트를 대상으로 등온성에 대한 실험을 수행함으로써 면적이 증가되는 경우의 등온 가열 히터 플레이트의 적용성 및 성능에 대하여 고찰하였다. 이러한 연구 결과를 정리하면 아래와 같다.

1. 기존의 균일한 열유속 발열 구조의 200 mm용 히터 플레이트는 가열과정 및 고온의 일정 온도를 유지하는 경우에 플레이트와 웨이퍼간의 공간에서

자연대류 유동이 발생함에 따라 시간에 따른 온도 진동 및 온도 편차가 발생하였으며 작동 온도 증가에 따라 편차가 증가하여 약 710°C의 온도에서는 최대 30°C 정도의 편차를 발생하였다.

2. 상변화 열전달 구조의 히터 플레이트는 표면 온도 측정결과 약 850°C의 고온에서 최대 약 4°C의 온도 편차를 나타내었으며 690°C의 웨이퍼 표면에서 약 10°C 정도의 온도 편차를 보임으로써 등온 표면의 가열조건에 의하여 온도 편차가 크게 개선되었다. 또한 천이 가열과정과 일정온도를 유지하는 경우에도 시간에 따른 온도 진동이나 온도편차도 상대적으로 안정적이었다.

3. 직경이 330 mm로 증가된 상변화 열전달식 히터 플레이트를 적용한 경우, 동일한 작동온도범위에서 편차가 약 11°C 정도로 측정됨으로써 면적이 증가하는 경우에도 매우 높은 등온성을 나타내었다.

후 기

이 논문은 2008학년도 신안산대학교 학술연구비에 의하여 연구된 것임.

References

1. D. H. Choi, J. KSME B, 40 (2000) 39.
2. T. J. Mountziaris, K. F. Jenson, J. Electrochemical Soc. 138 (1991) 2426.
3. R. Mucciato, N. J. Lovergine, Crystal Growth, 221 (2000) 758.
4. T. Bergunde, M. Dauelsberg, L. Kadinski, L. Makarov, N. Yu, V. S. Yuferev, D. Schmitz, G. Strauch, J. Crystal Growth, 180 (1997) 660.
5. Y. Y. Lee, H. K. Kang, S. H. Moon, J. Kor Inst. Surf. Eng., 43 (2010) 309.
6. J. S. Park, H. G. Kwon, H. H. Cho, Proc. KSME, (2007) 3165.
7. J. H. Lee, J. B. Yoo, S. I. Bae, J. Kor. Crystal Growth and Crystal Tech., 15 (2005) 135.
8. S. Y. Lee, H. H. Cho, Y. W. Lee, Proc. KSME, (2000) 261.
9. Y. H. Park, Trans. KSME B, 27 (2003) 1525.
10. H. S. Hong, M. S. Kong, H. K. Kang, J. of KSHT, 22(2009) 162.
11. P. D. Dunn, D. A. Reay, Heat pipes, Pergamon Press, 4Ed., (1994) 107.