

웨이퍼 프로버 칩의 저온 온도균일도 향상에 관한 연구

주영철^{1*}, 신희철¹, 강명구²
¹순천향대학교 기계공학과, ²(주)세믹스

A Study of Improvement of Low Temperature Uniformity of Wafer Prober Chuck

Youngcheol Joo^{1*}, Hwicheul Shin¹ and Myung Koo Kang²

¹Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University

²SEMICS Inc.

요약 반도체 양산공정에 사용되는 웨이퍼 프로버의 칩은 고온이건 저온이건 항상 일정한 온도균일도가 요구된다. 저온으로 운전 시에 온도분포를 써모커플을 이용하여 측정한 결과 온도균일도를 향상할 필요가 있음을 발견하였다. FLUENT를 이용한 전산해석을 하여 온도분포를 해석하였으며, 이 결과를 이용하여 냉각수 회로 배치의 변경과 국부적인 회로 폭의 확대 등 개선안을 제시하였다. 제시된 개선안과 현재 칩의 온도분포를 비교한 결과 온도균일도가 향상되었음을 확인하였다.

Abstract The wafer prober is used in mass production process of semiconductor chips. The chuck in wafer prober must have a uniform temperature distribution when the chuck is heated or cooled. The temperature distribution of prober chuck is measured by using a thermocouple when the chuck is cooled. The temperature distribution is also calculated by using a CFD program, FLUENT. The measured temperature and calculated temperature show similar distributions. A modified coolant circuit distribution for the improving temperature uniformity is suggested based on the numerical analysis results.

Key Words : Temperature, Chuck, CFD(Computational Fluid Dynamics), Wafer Prober

1. 서론

반도체 양산공정에 사용되는 웨이퍼 프로버(wafer prober)는 웨이퍼 상에 구성된 수많은 반도체 칩 회로의 이상 유무를 순차적으로 검사하기 위해 핀(probe)을 웨이퍼 패드에 반복적으로 접촉시켜주는 장치로서, 반도체 소자의 제조공정 중 없어서는 안 되는 필수적인 장비중의 하나이다[1]. 이 장비에서 칩은 웨이퍼를 기계적으로 지지하여주고 웨이퍼의 온도를 시험온도인 -50℃ ~ 150℃ 내외로 균일하게 가열·냉각해 주는 역할을 한다. 이 경우 웨이퍼 상의 모든 소자가 균일온도에서 측정되어야 하기 때문에 칩의 온도분포와 평편도에 대한 요구조건이 매우 엄격하여 칩 전체 표면의 온도가 항상 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 이내

의 차이를 보여야 하며, 가열 또는 냉각상태에서도 평편도가 $\pm 8\mu\text{m}$ 이내에 유지되어야 한다.

프로버 칩의 냉각은 이원냉각기에서 약 -75℃로 냉각된 액체냉매(HFE-7200, Galden 등)를 칩의 내부에 설치되어 있는 냉각수 회로에 흐르게 함으로써 칩을 냉각시킨다. 이 냉각수 회로의 배치를 적절하게 함으로써 칩의 냉각 성능과 온도 균일도를 얻을 수 있다.

본 연구는 써모커플(thermocouple)을 이용하여 프로버 칩의 온도분포를 체계적으로 측정하여 칩의 온도 균일도를 파악하고자 한다. 또한 전산해석을 이용하여 온도분포를 해석하고 측정치와 비교함으로써 칩의 온도 균일도 향상을 위한 도구를 제시하고자 한다.

*교신저자 : 주영철(ychjoo@sch.ac.kr)

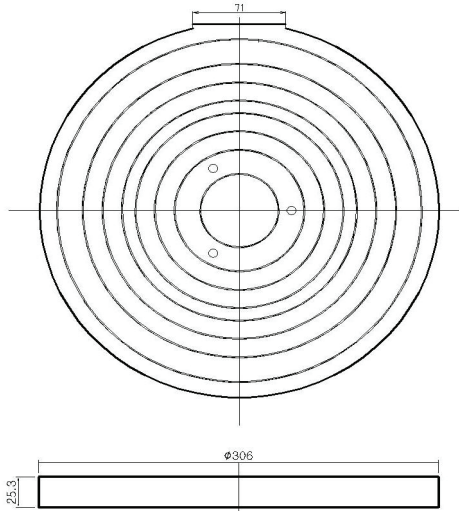
접수일 09년 07월 14일

수정일 (1차 09년 09월 14일, 2차 09년 10월 07일)

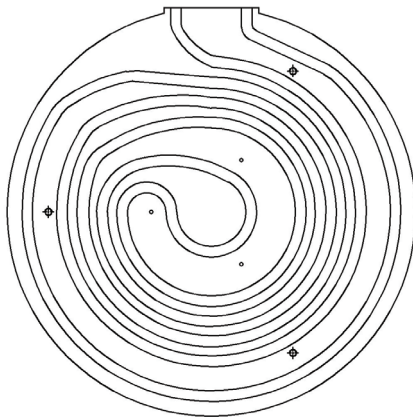
게재확정일 09년 10월 14일

2. 프로버 척의 온도분포 측정

그림 1에 프로버 척의 구조를 나타내었다. 프로버 척은 두랄루민 재질의 지름 306mm, 두께 20.3mm의 원형판에 냉각수 회로를 밀링으로 가공하고, 그 위에 또 다른 지름 306mm, 두께 5mm의 두랄루민 원형판을 브레이징 용접법으로 용접하여 제작한다. 척의 상면에는 진공을 가압하여 반도체 회로가 식각된 실리콘 웨이퍼를 잡아주기 위한 동심원 모양의 홈이 파여 있다. 프로버에 장착할 때 척의 아래 면에 히터 회로가 장착된 마이카 재질의 단열판을 붙인다. 이 히터를 가열하여 반도체 회로의 고온 시험시 필요한 척의 표면 온도를 얻을 수 있다.

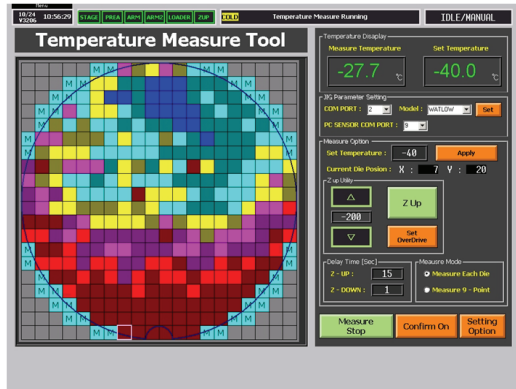


(a) 평면도와 정면도

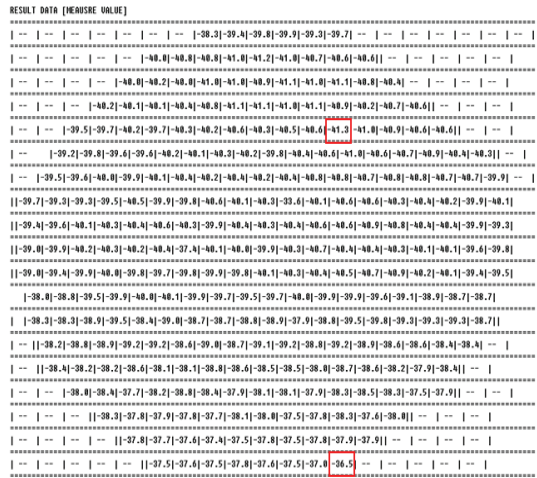


(b) 냉각수 유로

[그림 1] 프로버 척의 구조



(a) 척의 저온 온도분포 측정



(b) 온도 측정치

[그림 2] 프로버 척의 저온 온도분포 측정 결과

냉각수 회로는 척의 표면을 균일하게 냉각시킬 수 있도록 구성되어 있으며 척의 밑부분에서 관통하여 위로 올라오는 여러 가지의 핀들을 피하여 배치하여야 하는 제한조건이 있다. 또한 척을 가열시에 밑면에 장착된 히터에서 오는 열이 표면에 고르게 전달되는데 방해하지 않아 고온시의 온도 균일도를 저하시키지 않아야 하고, 큰 온도변화에서도 열변형이 적어 몇번의 평면도를 규제치 이하로 유지시켜야 하는 등 여러 가지 제한조건이 요구되고 있다. 척의 냉각수 입출구 부위에 척과 냉각수 호스를 연결하여 주는 브라켓을 장착한다.

프로버의 탐침에 써모커플을 장착하고 프로버 척 윗면을 가로 세로 15mm 간격으로 온도를 측정하고 그 결과를 그림 2(a)에 나타내었다. 척 윗면의 대부분은 비교적 일관성 있는 측정치를 나타냈으나 맨 바깥 모서리 부분의 측정점들은 척과 써모커플의 접촉문제에 인하여 측정

치에 일관성이 떨어졌다. 그림에서 보면 전반적으로 일정한 온도분포를 보였으나 냉각수 입출구가 있는 쪽을 위쪽으로 보았을 때 1사분면의 온도가 다른 부분보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 그림 2 (b)에 각 측정위치에서의 온도값을 나타내었으며, 바깥 부분의 정확하지 않은 온도 측정점들의 값을 제외하면 척 표면의 온도차이가 약 4.6℃ 정도가 됨을 알 수 있다.

따라서 이 프로버 척은 척 윗면 전체의 온도균일도가 고온이건 저온이건 항상 ±1.5℃ 이내의 차이를 보여야 한다는 제한조건을 만족시키지 못하고 있으므로 온도 균일도 향상에 대한 연구가 요구된다.

3. 프로버 척의 온도분포 전산해석

프로버 척을 그림 3 (a)와 같이 3차원으로 모델링하고 그림 3 (b)와 같이 격자를 생성하였다.

해석에 사용된 각 부분의 격자구조와 재질을 표 1과 표 2에 각각 나타내었다.

【표 1】 각 부분의 격자구조와 재질

부분	격자형태	격자개수
냉각수 유로	육면체	18,208
척	육면체, 사면체	211,772
단열판	육면체	91,830
브라켓	육면체	9,834

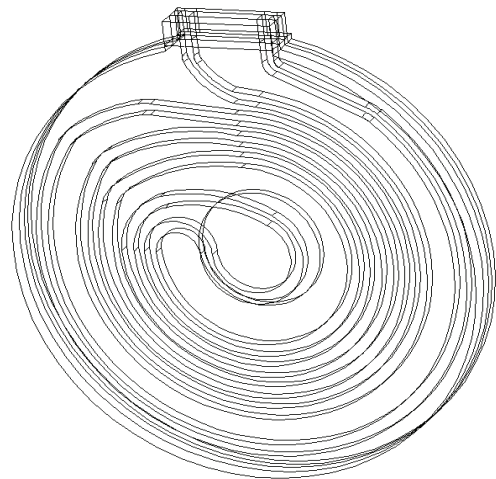
【표 2】 각 부품의 재질과 특성[3, 4]

부품	재질	밀도 kg/m ³	비열 J/Kg·C	열전도도 W/m·K
척	두랄루민	2810	960	130
냉각수	HFE-7200	1570	1214.14	0.069
단열판	Mica	3700	1000	1.22
브라켓	알루미늄	2719	871	202.4

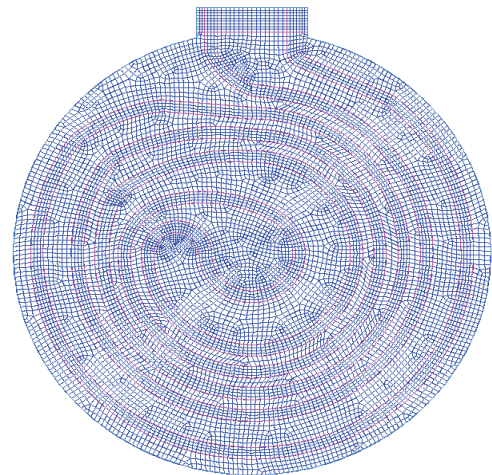
척의 내부는 다음과 같은 3차원 열전도 방정식으로 온도분포를 계산한다[2].

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0 \quad (1)$$

여기서 T 는 척의 온도이고 x, y, z 는 공간 좌표, \dot{q} 은 발열량, k 는 열전도도이다. 두랄루민 재질의 척 내부에서



(a) 모델링



(b) 격자 구조

【그림 3】 프로버 척의 모델링과 격자구조

열전도도 k 는 일정하다고 가정하였고 발열량 \dot{q} 은 0이다. 히터가 장착된 마이카 단열판은 히터의 두께가 너무 얇아 독립된 격자생성이 어려웠기 때문에 마이카 전체 부피에서 균일한 열이 발생한다고 가정하였다.

웨이퍼 프로버 내부는 저온의 척 표면에 성애가 생기는 것을 방지하기 위해 15℃의 제습된 공기를 불어넣는다. 그러나 제습된 공기의 유량이 프로버 내부공간 크기에 비하여 상대적으로 적고 프로버 내부에는 많은 구조물들이 있어서 공기의 유동을 방해하므로 프로버 척 주위의 강제적인 공기 흐름은 크지 않다. 따라서 척의 윗면과 아래면, 옆면의 대류열전달계수는 각각 아래의 자연대류에 의한 열전달 상관식에서 구하였다[5].

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (2)$$

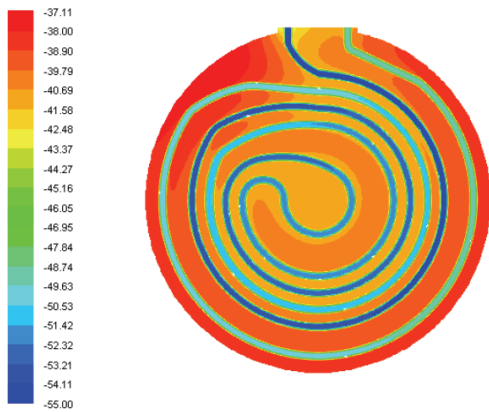
$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (3)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (4)$$

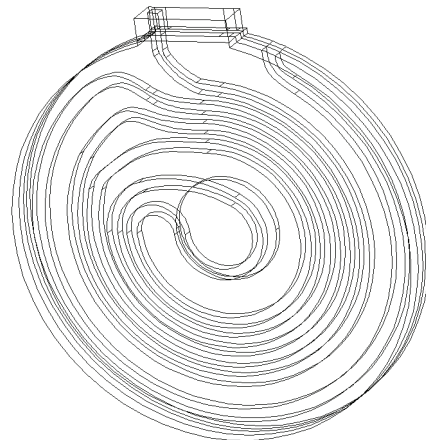
여기서 Nu 는 Nusselt수이고 Ra 는 Rayleigh수, Pr 은 Prandtl 수이다. 해석에 사용한 총 격자수는 약 331,000개이며, 인텔 코어2듀오 3.17GHz CPU의 PC를 사용하여 약 2시간 정도의 계산시간이 소요되었다.

온도분포 해석결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 냉각수 유로가 있는 단면의 온도분포이다. 냉각수 입구에서 -55℃로 냉각된 냉매가 유입되어 주변을 냉각시키면서 흘러가지만 점차 냉매의 온도가 올라가서 출구에서의 온도가 가장 높음을 알 수 있다.

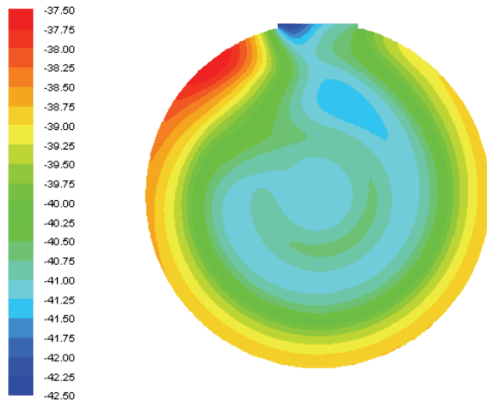
그림 4(b)는 프로버 척 윗면의 온도분포이다. 냉각수 입구 근처인 1사분면의 온도가 가장 낮아 -41℃의 온도 분포를 보이고 척 바깥쪽의 모서리 부분에서 온도가 높게 나타났다. 그림 2(b)의 측정치가 척의 모서리 부분을 제외한 값이라는 것을 고려하면 해석결과와 측정결과가 일치한 분포를 보인다. 1사분면에서 냉점이 존재하는 이유는 그 아래 부분의 유로에 냉각수 입구부분에서 갓 들어온 차가운 냉각수가 흐르기 때문이다. 또한 척의 바깥쪽에 온도가 높은 영역이 나타나는데 이는 그 아래쪽의 냉각수 회로에 흐르는 냉각수의 온도가 많이 올라 큰 냉각효과를 내지 못하기 때문인 이유와 척의 옆면에서 대기 중으로 열전달이 일어나 중심부보다 열전달이 큰 두 가지 요인이 있다고 사료된다. 특히 2사분면의 바깥부분의 온도가 가장 높는데 이는 그림 4(a)에서 보듯이 이 부분에 냉각수 회로가 멀리 떨어져 있어서 냉각수의 냉이 잘 전달되지 않기 때문이다.



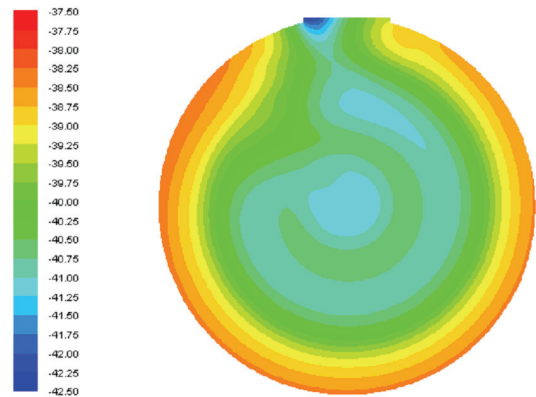
(a) 냉각수 회로의 온도분포



(a) 모델링



(b) 프로버 척 윗면의 온도분포



(b) 온도분포

[그림 4] 프로버 척의 온도분포 해석 결과

[그림 5] 설계 개선안의 모델링 및 온도분포

현재의 프로버 칩은 냉각수 입구와 가까운 1사분면이 다른 부위보다 온도가 낮고 칩의 바깥부분의 온도가 상대적으로 높은 온도분포를 보이고 있다. 이를 해결하기 위해서 온도분포 해석결과를 분석하여 그림 5(a)와 같은 설계개선안을 제시하였다. 칩 바깥부분의 온도를 낮추기 위해서 냉각수 회로의 폭을 맨 바깥부분만 8mm에서 10mm로 확대하였으며, 특히 2사분면의 바깥쪽에 온도가 높게 나타나는 것을 해결하기 위해 냉각수 회로를 2사분면의 바깥 끝부분까지 배치되도록 변경하였다. 또한 1사분면의 온도가 낮은 것을 해결하기 위해 냉각수 회로의 밀도를 낮추고자 냉각수 출구를 좀 더 일찍 칩에서 빠져나가도록 하였다. 최적의 냉각수 출구위치와 2사분면 회로배치는 시행착오법으로 구하였다. 그림 5(b)에 칩 윗면의 온도분포를 나타내었다. 온도편차는 3.0℃로 그림 4(b)의 원래 프로버 칩보다 균일도가 개선되었음을 알 수 있다.

프로버 칩의 온도 균일도를 향상시키기 위해서는 냉각수 회로를 개선하여야 하는데 각 개선안에 따라 시제품을 만들면 매우 비용이 많이 들고 시간이 많이 걸린다. 전산해석을 통하여 최적의 냉각수 회로를 설계하여 비용과 시간을 절감할 수 있다.

4. 결론 및 향후과제

반도체 양산공정에 사용되는 웨이퍼 프로버의 부품인 칩의 저온 온도 균일도에 관하여 연구하였다. 온도분포를 써모커플을 이용하여 측정한 결과 냉각수가 유입되는 입구 주변의 윗면에 다른 부위보다 온도가 낮은 냉점이 있고 칩의 바깥부분의 온도가 다른 부분의 온도보다 상대적으로 높다는 것을 알 수 있었다. CFD 프로그램을 이용하여 전산해석한 결과 냉점의 아래에 입구에서 유입되는 냉각수 회로가 있는데 이 냉각수의 온도가 낮아 냉점이 발생하며, 칩 바깥부분을 도는 냉각수는 이미 온도가 올라가서 냉각효과가 적은 것을 알 수 있었다. 냉각수 회로 배치 변경과 국부적인 냉각수 회로 폭의 확대를 통하여 칩 윗면의 온도분포 균일도를 향상시켰다.

참고문헌

- [1] Richard C. Jaeger, *반도체 공정개론* (이상열 역), 교보문고, 2005.
- [2] Incropera, DeWitt, Bergmann, and Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed, John Wiley & Sons, 2007.
- [3] <http://www.matweb.com/>

[4] <http://www.mmm.co.jp/emsd/product>

[5] W. Kays and M. Crawford, *Convective Heat and Mass Transfer*, 2nd ed, Mc-Graw Hill, 1980.

주 영 철(Youngcheol Joo)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : UCLA 기계공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>

열전달, MEMS, 내연기관 등

신 휘 철(Hwichul Shin)

[준회원]



- 2008년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 대학원 기계공학과 석사과정

<관심분야>

열전달, 잉크젯 등

강 명 구(Myung Koo Kang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : (주)씨믹스 공장장 겸 생산기술팀장

<관심분야>

반도체 장비, 생산기술