

정전척 온도분포 개선을 위한 냉각수 관로 형상

이 기 석[†]

[†]공주대학교 기계자동차공학부

Coolant Path Geometry for Improved Electrostatic Chuck Temperature Variation

Ki Seok Lee[†]

[†]Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

Uniformity of plasma etching processes critically depends on the wafer temperature and its distribution. The wafer temperature is affected by plasma, chucking force, He back side pressure and the surface temperature of ESC(electrostatic chuck). In this work, 3D mathematical modeling is used to investigate the influence of the geometry of coolant path and the temperature distribution of the ESC surface. The model that has the coolant path with less change of the cross-sectional area and the curvature shows low standard deviation of the ESC surface temperature distribution than the model with the coolant path of the larger surface area and more geometric change.

Key Words : Etch, Electrostatic Chuck, Temperature distribution, Coolant Path

1. 서 론

반도체 산업에서 생산성과 원가경쟁력 향상을 위한 웨이퍼 대구경화와 소자 선폭의 미세화는 중요한 요소이다. 이를 위한 반도체 각 공정에서의 적절한 공정 설계와 더불어 공정 장비의 개선이 계속 진행되고 있다.

반도체 식각 공정에서는 웨이퍼의 온도분포가 CD(critical dimension) 산포에 직접적인 영향을 주는 주요한 공정인자로 웨이퍼 면내의 온도제어가 매우 중요하다. 식각 공정에서 웨이퍼의 온도는 식각율(Etch-rate), 식각균일도, 선택비 등과 지수함수 형태의 상관관계를 보인다[1].

식각 공정 중의 웨이퍼 온도는 플라즈마, 고정력(chucking force), He 가스 배압, 정전척의 온도 등에 영향을 받는다. 고밀도 플라즈마를 이용한 식각공정에서 웨이퍼의 주요 열 공급은 이온의 충돌에 의해 이루어지고 열 방출은 웨이퍼를 지지하고 있는 정전척으로 He 가스를 통해 이루어진다. 웨이퍼의 온도에 대한 연

구는 열원인 플라즈마와 고정력, He 가스 배압 등의 조합에 관한 특성에 관련하여 진행되어 왔다[2-5]. 이와 같은 해석은 정전척의 온도를 일정한 온도로 제어하는 것을 가정하고 정전척 자체에 대한 열 해석이 없이 해석을 수행하였다.

정전척은 다층의 구조로 He 가스 라인, 냉각수 관로, 전극부, lift pin 등이 구성되어 있어 설계에 많은 제약조건이 발생한다. 이러한 구조는 정전척의 표면의 온도분포를 갖게 하며 정전척 표면 온도분포는 웨이퍼 면내의 온도분포 제어에 중요한 요소로 작용한다.

본 연구에서는 정전척을 통한 열전달 해석을 삼차원 모델을 구성하여 진행하였다. 현재 모델에 대한 온도분포를 해석하고 온도분포를 개선하기 위한 개선 모델에 대해서도 해석을 진행하였다.

정전척으로의 유입열원인 플라즈마는 입자 밀도, 입자의 에너지 분포, 체임버의 구조, 안테나 구조, 공정가스, 공정압력 등 여러 요소가 영향을 미친다. 본 연구에서는 플라즈마를 통한 열 공급의 공간적인 유입형태보다는 유입 총량이 균일한 분포로 웨이퍼 전면으로 유입된다는 가정으로 해석하였다. 이는 대구경 식각공

[†]E-mail : ks.lee@kongju.ac.kr

정장비의 플라즈마 소스가 웨이퍼 전면에 균일한 플라즈마 상태를 유지하는 방향으로 개발되고 있고, 웨이퍼에 유입되는 열원의 기준 형태로 정전척의 온도분포 특성을 해석하기에 유효한 결과를 보여준다.

2. 정전척의 모델링

정전척의 열전달과 온도분포 해석에 사용된 모델과 실제제품의 형상은 Fig. 1과 같다.

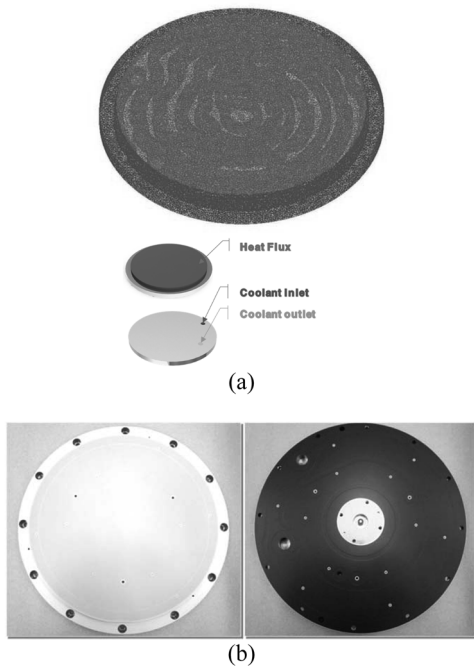


Fig. 1. ESC(Electrostatic Chuck). (a) FE Model, (b) product.

해석에 사용한 정전척은 세라믹 판과 알루미늄 몸체를 Si-adhesive로 집합한 형태이며, 해석에서 알루미늄 몸체는 Al6000 계열 물성을 사용하였다.

해석에 사용된 세라믹 판은 Fig. 2와 같이 L사와 T사의 시편을 이용하여 측정된 열전도도 25(W/m·k) 값을 적용하였다.

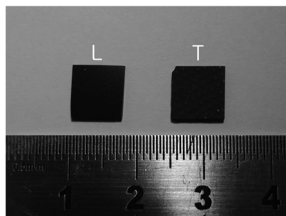


Fig. 2. Ceramic plate of ESC.

Si-adhesive 물성치의 경우 정확한 조성비나 열전달 특성은 제품에 따라 다르며 0.2~0.6(W/m·k)의 열전도도를 가지며 해석모델에서는 0.5(W/m·k)로 고려하여 해석하였다.

열 경계조건으로 플라즈마에서 유입되는 열량은 실제 식각 공정에서의 냉각수 온도변화에 기초하여 계산하였다. 냉각수(Galden)가 10 lpm의 유량으로 흐를 때 섭씨 40°C로 유입된 냉각수가 출구 쪽에서 45°C로 변할 수 있는 열량을 계산하여 25 kW/m²의 열 유입 조건을 상부에 적용하였다.

냉각수는 Galden(비열: 0.23 cal/g°C, 밀도: 1.77 g/cm³)을 사용하였고, 유입온도는 40°C로 유량의 변화를 주어 계산하였다.

3. 정전척의 온도분포

해석에 사용된 정전척의 냉각수 관로 형상은 Fig. 3과 같다. 냉각수 관로 형상은 lift pin, He 가스 라인, 전극 등과의 간섭을 피하면서 접촉면적을 넓게 갖도록 설계되어 있다.

Fig. 4와 Table 1은 냉각수 유량에 따른 정전척 상면의 온도 분포를 냉각수 관로의 표면온도와 같이 나타낸 것이다. 정전척 상면의 온도가 높은 부위는 냉각수로의 폭이 좁은 부위가 아닌 관로의 굴곡을 심하고 폭의 변화가 많은 부위이다. 이러한 해석결과는 유량이 많아져도 같은 온도분포 경향을 보인다.

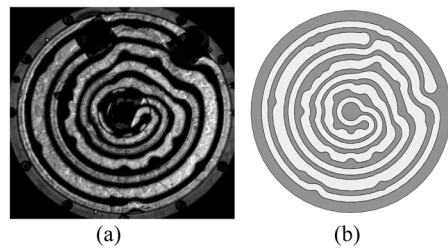


Fig. 3. Coolant path of ESC(Electrostatic Chuck). (a) Ultrasonic Testing Image of ESC, (b) Schematic of coolant path

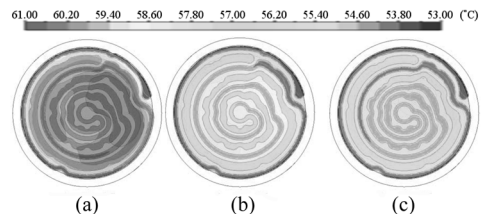


Fig. 4. Temperature distribution of the surface of ESC and coolant path. (a) 10.2 lpm, (b) 13.6 lpm, (c) 17.0 lpm.

Table 1. Temperature of the surface of ESC and coolant

Temperature (°C)		Coolant flow rate (lpm)		
		10.2	13.6	17.0
Top surface	Max.	61.74	58.85	57.07
	Min.	58.68	56.22	54.71
coolant	Inlet	40.00	40.00	40.00
	Outlet	45.49	44.14	43.32

Table 2. Temperature of the surface of ESC and coolant.

Temperature (°C)		Coolant flow rate (lpm)		
Standard deviation		10.2	13.6	17.0
Original model	Mean.	60.62	57.82	56.11
	St.Dev.	0.46	0.38	0.33
Improved model	Mean.	58.94	56.51	55.02
	St.Dev.	0.35	0.27	0.22

본 논문에서는 냉각수 관로의 표면적을 넓히는 기존 형상 대신에 주어진 냉각수 관로 안 공간에 관로의 단면적과 곡률 변화를 최소화하는 개선된 냉각수 관로를 Fig. 5와 같이 제시하였다.

개선된 냉각수 관로가 정전척의 온도분포에 미치는 영향을 기존 모델과 비교하여 Fig. 6과 Table 2에 나타내었다. 냉각수 유량이 증가하면 기존모델과 개선모델 모두 정전척 상면 온도의 표준편차가 낮아지는 경향을 보인다. 같은 유량조건에서 개선된 모델은 기존모델에 비해 낮은 평균온도와 낮은 표준편차를 보이며 정전척 상면의 온도분포의 균일성이 개선됨을 보여준다.

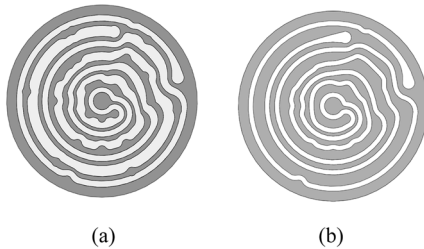


Fig. 5. Coolant path of ESC. (a) Original model, (b) Improved model.

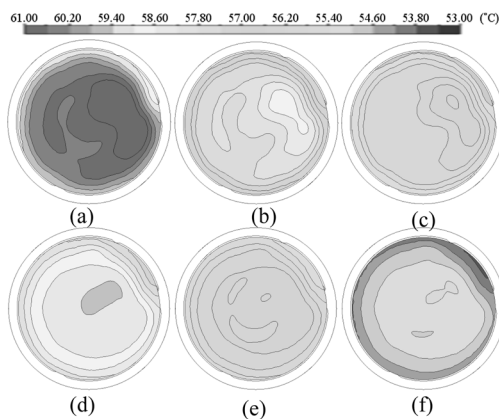


Fig. 6. Temperature distribution of the surface of ESC. Original model: (a)10.2 lpm, (b)13.6 lpm, (c) 17.0 lpm, Improved model: (d)10.2 lpm, (e)13.6 lpm, (f) 17.0 lpm

4. 결 론

본 논문은 식각공정에서 정전척의 온도분포를 냉각수 관로의 형상을 고려하여 해석하였다. 정전척의 복잡한 구조로 인해 냉각수 관로가 제한되어 정전척 표면의 온도는 산포를 가지며 냉각수 유량이 증가함에 따라 온도 산포가 개선되나 평균온도도 같이 변화함을 보였다.

정전척 상면의 온도분포를 개선하기 위하여 기존의 표면적이 넓은 형태의 냉각수 관로를 개선한 곡률과 단면적 변화가 적은 냉각수 관로를 제안하고, 개선한 냉각수 관로가 기존의 냉각수 관로 모델에 비해 정전척 상면의 온도 산포를 개선함을 보였다.

감사의 글

본 논문은 나도반도체장비 원천기술상용화사업의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. Kiihanmaki, J. and Franssila, S., "Deep Silicon Etching in inductively Coupled Plasma Reactor for MEMS," *Physica Scripta*, T79, 1999.
2. Tretheway, D. and Aydil, E. S., "Modeling of Heat Transport and Wafer Heating Effects during Plasma Etching," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 143, pp. 3674-3680., 1996.
3. Samir, T. 2003 Improving Wafer Temperature Uniformity for Etch Applications. A Dissertation in Mechanical Engineering, Texas Tech University.
4. Daviet, J. and Peccoud L., "Heat Transfer in a Microelectronics Plasma Reactor," *J. Appl. Phys.*, Vol. 73, pp.1471-1479., 1993.
5. Kelkar, U.M., Gordon, M. H., Roe, L. A. and Li, Y., "Diagnostics and modeling in a pure argon plasma: Energy balance study," *J. Vac. Sci. Technol.* A17, pp.125-132., 1999.

접수일: 2011년 10월 18일, 심사일: 2011년 12월 2일, 게재확정일: 2011년 12월 15일