

논문 99-8-6-09

## 실리콘 웨이퍼 공정용 알루미나 정전척의 제작과 특성에 관한 연구 정광진, 박용균, 이영섭, 조동율, 천희곤

### A study on the Fabrication and Characterization of Alumina Electrostatic Chuck for Silicon Wafer Processing

Kwang-Jin Jeong, Yong-Gyun Park, Young-Seop Lee, Tong-Yul Cho  
and Hui-Gon Chun

#### Abstract

Alumina electrostatic chucks for silicon wafer process with wide range of electrical resistivity were fabricated by controlling the amount of  $TiO_2$  addition (0, 1.3, 2.0, 2.8 wt%). The dependence of electrostatic force on applied voltage, temperature and humidity was investigated. In addition, response characteristics on applied voltage and relationship between electrical resistivity and electrostatic force characteristics such as Coulomb force and Johnsen-Rahbeck force were discussed.

#### 1. 서론

반도체 디바이스의 대용량화에 따라 반도체 공정 기술의 경향은 실리콘 웨이퍼의 대구경화, 반도체공정 장치의 매엽화, 건식 프로세스화로 진행됨에 따라서 실리콘 웨이퍼의 처킹(chucking) 방법에도 큰 변혁을 요구하고 있다. 지금까지의 기계적 클램프(mechanical clamp)나 진공척(vacuum chuck)에 의한 실리콘 웨이퍼의 단순한 유지 고정이 아니라, 웨이퍼를 밀착해서 균일한 열처리가 가능하고, 파티클의 발생을 최소화 시킬 수 있는 방법들 가운데 정전력을 이용한 정전척(electrostatic chuck)이 본격적으로 실리콘 소자의 양산공정에 사용되는 단계에 있다. 현재에는 폴리이미드를 이용한 저가의 폴리머 정전척과 알루미나와 같은 고가의 세라믹 정전척이 병행 사용되고 있으나, 점차 세라믹 정전척으로 변환되고 있는 추세이다<sup>[1],[2],[8]</sup>.

그림 1은 정전척의 흡착이론을 개략적으로 나타낸 것이다. 정전척에서 웨이퍼의 흡착은 전압인가에 따른

유전체의 대전분극으로 인한 쿨롱 힘(Coulomb force)과 존슨-라벡 힘(Johnsen-Rahbeck force)에 의해서 일어나는데, 존슨-라벡 힘은 웨이퍼와 유전체의 표면 거칠기에 의해서 생긴 air gap이 하나의 진공 유전체로 작용하여 전압이 인가 되었을 때 생기는 미소 전류에 의해서 대전분극화 되어 작용하는 힘을 말한다[4]. 식 (1)은 쿨롱 힘과 존슨-라벡 힘을 수식적으로 나타낸 것이다<sup>[3]</sup>.

본 연구에서는 정전척의 유전체 물질로 열전도도와 유전특성, 기계적 특성이 우수한 알루미나( $Al_2O_3$ )에  $TiO_2$ 를 첨가한 여러 조성의 세라믹 정전척을 제작하여 비저항을 변화에 따른 쿨롱 힘과 존슨-라벡 힘의 영향을 규명하고자 시도하였다. 또한 비저항과 인가전압이 정전력에 어떠한 영향을 주는지 조사하고, 인가전압에 따른 응답시간을 측정하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2-1. 시편제작

알루미나 정전척을 제작하기 위하여 99.9%의 순도

울산대학교 재료금속공학부 (School of Mat. Sci. & Metal. Eng., Univ. of Ulsan)

<접수일자 : 1999년 9월 30일>

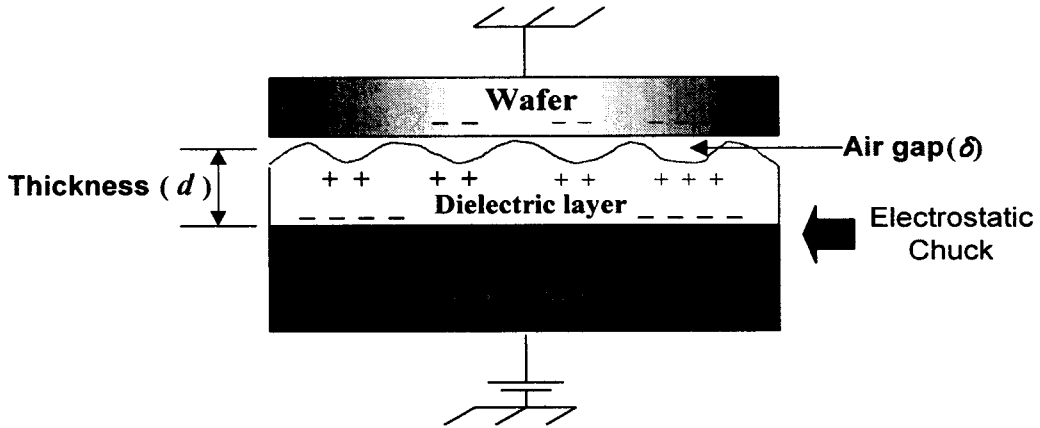


그림 1. 정전척의 흡착 이론.

Fig. 1. Schematic diagram of adsorption theory for electrostatic chuck.

$$F = \alpha F_C + \beta F_{J-R} = \alpha \frac{1}{2} \epsilon_o \epsilon_r \left(\frac{V}{d}\right)^2 + \beta \frac{1}{2} \epsilon_o \left(\frac{V}{\delta}\right)^2 \quad (1)$$

( $F$ : 정전력,  $F_C$ : 쿨롱 힘,  $F_{J-R}$ : 존슨-라베 힘,  $\alpha$   $\beta$ : 계수,  $\epsilon_o$ : 진공유전율,  $\epsilon_r$ : 비유전율)

를 가지는  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  분말을 사용하였으며, 비저항이 다른 정전척을 제조하기 위하여  $TiO_2$ 를 첨가하지 않은 시편과  $TiO_2$ 가 각각 1.3, 2.0, 2.8 wt%를 첨가한 시편들을 제작하였다. 소결성을 향상 시키기 위하여  $MgO$ 를 0.1 wt% 첨가하였다. 시편의 제작은 닥터 블레이드 법<sup>[6]</sup>을 이용하여 제작하였으며, 1600 °C, 수소 분위기에서 2시간 소결하였다. 소결한 시편을 DC 마그네트론 스퍼터 증착기를 이용하여 Al 전극을 형성하였다. 알루미늄 정전척의 제조공정도는 그림 2에 나타내었다. 제작된 알루미늄 정전척 시편들의 비저항은 고저항 측정기(HP43391B)를 이용하여 측정하였으며, 비유전상수는 impedance analyser(HP 1942)을 이용하여 측정하였다. 그리고 각 시편들의 표면 거칠기는 광 간섭원리를 이용한 비접촉식 표면 조도측정기(optical dimensional metrology measurement)를 이용하여 측정하였다.

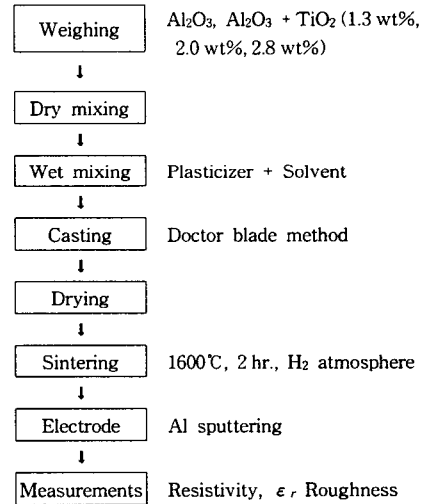


그림 2. 알루미늄 정전척의 제조 공정도.

Fig. 2. Fabrication process

2-2. 정전력 측정

정전력의 측정은 실제 공정에서와 같이 정전척에 실리콘 웨이퍼 뒷면이 처킹되도록 정전력 측정 시스템을 구성하여 인가전압에 따라 load를 가해서 정전력을 측정하였다. 그림 3은 전체 실험 순서도를 나타낸 것이다.

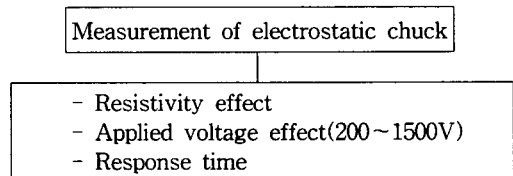


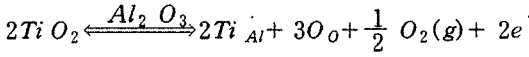
그림 3. 전체 실험 순서도

Fig. 3. Flow chart of experiment.

3. 결과 및 고찰

3-1. TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 비저항 변화

그림 4는 TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 알루미늄 정전척의 비저항 변화를 나타낸 것이다. 그림 4에서 TiO<sub>2</sub> 첨가량이 1.3 wt%에서 2.0, 2.8 wt%로 증가할수록 비저항 값은 1.0×10<sup>13</sup> Ω-cm에서 2.0×10<sup>12</sup> Ω-cm, 4.0×10<sup>9</sup> Ω-cm로 각각 감소하였다. TiO<sub>2</sub> 첨가량이 증가할 수록 비저항 값이 감소하는 것은 아래의 결합방정식에 나타낸 바와 같이 Al<sup>3+</sup> 자리에 Ti<sup>4+</sup>가 치환됨으로써 과잉전자를 생성시킨다<sup>[10]</sup>.



이러한 메카니즘으로 TiO<sub>2</sub>를 첨가하면 전기전도도가 증가하게 되며, 그 결과 알루미늄 정전척의 비저항은 낮아지는 것으로 사료된다.

표 1은 TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 알루미늄 정전척의 전기적 특성을 나타낸 것이다.

표 1. TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 알루미늄 정전척의 전기적 특성

Table 1. Electrical properties of alumina electrostatic chuck with TiO<sub>2</sub> contents

TiO <sub>2</sub> content (wt %)	Volume resistivity (ρ, Ω-cm)	Relative dielectric constant (ε <sub>r</sub> )
0	8.0×10 <sup>15</sup>	9.7
1.3	1.0×10 <sup>13</sup>	9.5
2.0	2.0×10 <sup>12</sup>	9.8
2.8	4.0×10 <sup>9</sup>	10.7

3-2. 비저항 변화에 따른 정전력의 변화

그림 5는 비저항 변화에 따른 정전력의 변화를 나타낸 것이다. 비저항이 8×10<sup>15</sup> Ω-cm에서는 정전력이 10 g/cm<sup>2</sup>, 18 g/cm<sup>2</sup>로 매우 낮은 값을 보인다. 이것은 비저항이 너무 높기 때문에 유전체와 실리콘 웨이퍼 표면의 전하축적에 의한 존슨-라벨 힘의 영향이 거의 없고 단지 유전체의 분극에 의한 쿨롱 힘만 작용하기 때문

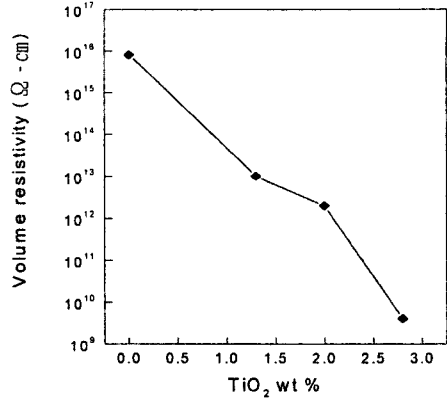


그림 4. TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 알루미늄 정전척의 체적 비저항 변화

Fig. 4. Volume resistivity of alumina ESC with TiO<sub>2</sub> contents

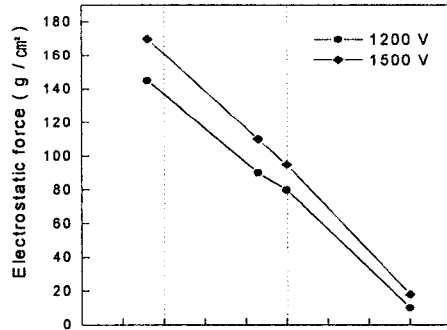


그림 5. 비저항 변화에 따른 정전력 변화

Fig. 5. Electrostatic force with change of volume resistivity.

이다<sup>[5]</sup>. 그러나 비저항 값이 낮아질수록 정전력이 증가하는 현상은 유전체 분극에 의한 쿨롱 힘과 함께 유전체와 실리콘 웨이퍼 표면사이의 전하 축적에 의한 존슨-라벨 힘이 동시에 작용하기 때문인 것으로 사료된다<sup>[6]</sup>. 사용된 시편의 두께는 500 μm이며 평균 표면 거칠기(R<sub>a</sub>)와 최대 표면 거칠기(R<sub>max</sub>)는 각각 1.45 μm, 6.7 μm였으며, 전압인가 시간은 300 sec로 유지하였다. 정전척에서 유전체의 비저항이 너무 낮을 경우 정전력은 크나 누설전류가 너무 크기 때문에 소자특성에 악영향을 줄 수 있고, 비저항이 너무 높으면 전류가 흐르지

않기 때문에 쿨롱 힘만 작용하므로 정전력이 너무 작아진다. 따라서 정전척에서 유전체의 비저항을 최적화시키는 것은 매우 중요하다.

3-3. 인가전압에 따른 정전력 변화

그림 6은 인가전압에 따른 정전력의 변화를 나타낸 것이다. 인가된 전압은 200V, 400V, 600V, 800V, 1000V, 1200V, 1500V 였으며 전압이 인가된 시간은 300 sec 이었다. 인가된 전압이 높아 질수록 정전력이 증가하는 현상은 인가전압이 커짐에 따라서 축적되는 전하에 가해지는 힘인 포텐셜 에너지가 커지기 때문인 것으로 사료된다. 비저항이 낮아지면서 정전력이 현저하게 커지는 것을 관찰할 수 있는데 특히, 인가전압이 1500V일 때 TiO<sub>2</sub>가 2.8 wt % 첨가된 알루미늄 시편인 경우 최대 170 g/cm<sup>2</sup>의 정전력을 나타내었다.

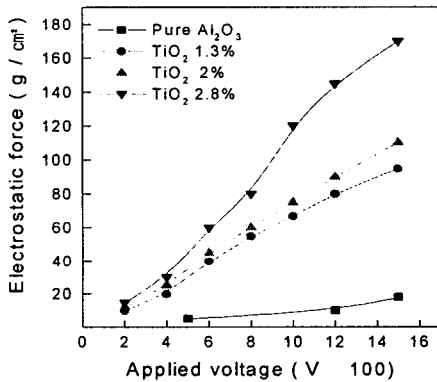


그림 6. 인가전압에 따른 정전력의 변화  
Fig. 6. Dependence of electrostatic force on applied voltage (alumina ESC)

3-4. 인가전압에 따른 응답특성

그림 7~10은 알루미늄 정전척의 응답특성을 나타낸 것이다. 전압을 인가하였다가 끊어주었을 경우 정전력은 순간적으로 없어지는 것이 아니라 점차적으로 없어지게 된다는 것을 보여준다. 이러한 현상은 인가된 전압에 의한 유전체의 분극이 순간적으로 없어지지 않고 표면에 축적된 전하가 남아있기 때문인 것으로 사료된다. 그림 7~10 에서와 같이 인가전압을 높게 가할 경우 응답시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 인가전압이 높은 경우 표면에 축적되는 전하량은 일정할지라도 축적된 전하에 가해지는 힘과 분극의 쌍극자에 가해지는 힘이 인가전압이 낮을 때 보다 더 크

기 때문에 생긴다.

또한 동일한 인가전압에서 조성이 다른 시편의 응답특성을 보면, 비저항이 높은 시편보다 낮은 시편에서 응답시간이 길어지는 것을 알 수 있었다. 이는 비저항이 낮은 경우는 표면에 축적되는 전하량이 많아 스위치 off시 축적된 전하가 사라지는 시간이 길어져서 응답시간 또한 길어지게 된다.

스위치 off시에도 정전척 표면에 축적된 전하는 순간적으로 없어지지 않으므로, 잔류전하를 함유한 웨이퍼를 dechucking 시킬 때 누설전류에 의하여 소자의 특성에 악영향을 미칠 수도 있으며, 실제공정에서 사용되는 정전척의 chucking/ dechucking 시간 즉 응답시간은 짧을수록 공정시간을 단축시킴으로써 생산성을 향상시킬 수 있다.

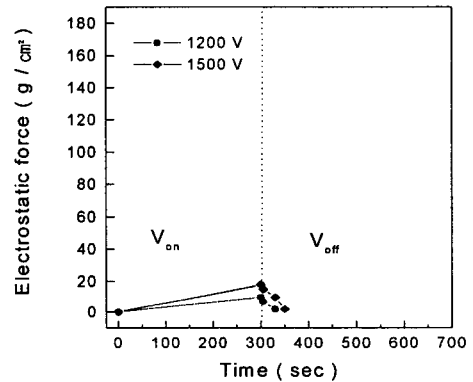


그림 7. 순수 알루미늄 정전척의 응답특성  
Fig. 7. Response characteristics of alumina ESC with applied voltage (pure Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

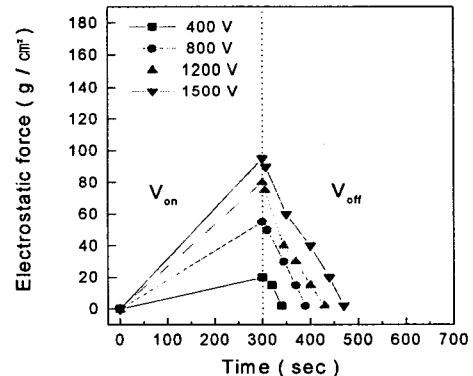


그림 8. TiO<sub>2</sub> 1.3 wt%첨가한 정전척의 응답특성  
Fig. 8. Response characteristics of alumina ESC with applied voltage (TiO<sub>2</sub> 1.3 wt % addition)

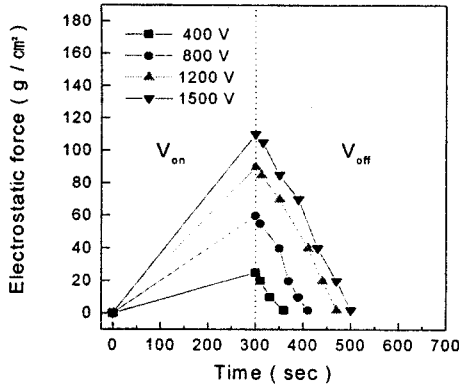


그림 9. TiO<sub>2</sub> 2.0 wt%첨가한 정전척의 응답특성

Fig. 9. Response characteristics of alumina ESC with applied voltage (TiO<sub>2</sub> 2.0 wt % addition)

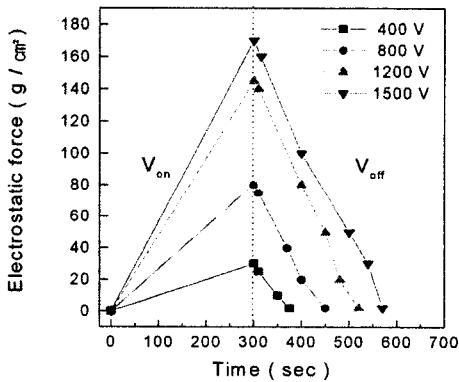


그림 10. TiO<sub>2</sub> 2.8wt%첨가한 정전척의 응답특성

Fig. 10. Response characteristics of alumina ESC with applied voltage (TiO<sub>2</sub> 2.8 wt % addition)

#### 4. 결론

정전척의 유전체 물질로 열전도도와 유전특성 그리고 기계적 특성이 우수한 알루미나에 TiO<sub>2</sub>를 첨가하여 비저항을 변화시켜서 인가전압, 응답시간의 특성에 관하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 알루미나에 첨가된 TiO<sub>2</sub> 양이 증가할수록 비저항 값은 각각  $8.0 \times 10^{15}$ ,  $1.0 \times 10^{13}$ ,  $2.0 \times 10^{12}$ ,  $4.0 \times 10^9 \Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다.
- (2) 알루미나의 비저항이 감소함에 따라서 정전척의 정전력은 증가 하였다.
- (3) 인가전압이 증가할수록 정전력은 증가하였는데 비저항 값이  $4.0 \times 10^9 \Omega\text{-cm}$ 일 때 최대 170 g/cm<sup>2</sup>의

정전력을 나타내었다.

- (4) 인가전압에 따른 응답특성은 인가전압이 높고 유전체의 비저항 값이 낮을수록 응답시간이 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구 센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] L. D. Hartsough, Electrostatic Wafer Holding, Solid state Tech. 35, No. 1, pp. 87-90, 1993.
- [2] S. A. Khomyakov, Attraction and Accuracy Characteristics of Electrostatic Chucks, Machines and Tooling 50, No. 3, pp. 22-24, 1979.
- [3] T. Tojo, and K. Sugihara, Low Voltage Electrostatic Wafer Chuck for Micro-fabrication System, Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering 19, No. 3, pp. 211-213, 1985.
- [4] C. Balaskrishnan, Johnsen-Rahbek Effect with an Electronic Semi-Conductor, British Journal of Applied Physics 1, No. 8, pp. 211-213, 1950.
- [5] T. Watanabe, T. Kitabayashi, and C. Nakayama, Electrostatic Force and Absorption Current of Alumina Electrostatic Chuck, Japanese Journal of Applied Physics, Pt. 1, Vol. 31, No 7, pp. 2145-2150, 1992.
- [6] T. Watanabe, T. Kitabayashi, Effect of Additives on the Electrostatic Force of Alumina Electrostatic Chuck, Journal of the Ceramic Society of Japan 100, No. 1, pp. 1-6, 1992.
- [7] M. Nasasuji, and H. Shimizu(Nikon), Low Voltage and High Speed Operating Electrostatic Wafer Chuck, Journal of Vacuum Science and Technology 10, No. 6, pp. 3573, 1992.
- [8] The Institute of Electrostatics Japan, Hand Book

of Electrostatics, pp. 672-675, 1981.

[9] James S. Reed, Introduction to The Principles of Ceramic Processing, pp. 359-362, 1994.

[10] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, Introduction to Ceramics, Second Edition, 1996.

---

## 著 者 紹 介

---

### 정 광 진

「센서학회지 제8권 제3호」 논문 99-8-3-12 p.87 참조



### 박 용 균

1972년 5월 17일

1994년 울산대학교 재료공학과 졸업(학사)

현재 동 대학원 재료공학과 대학원 재학중



### 이 영 섭

1972년 3월 1일생

1999년 울산대학교 재료공학과 졸업(학사)

현재 동 대학원 재학 중

### 조 동 울

「센서학회지 제6권 제1호」 논문 97-6-1-04 p.34 참조

### 천 희 곤

「센서학회지 제6권 제1호」 논문 97-6-1-04 p.34 참조