

웨이퍼 가이드링 적용에 따른 PE-CVD 챔버 변수에 대한 연구

왕현철*·서화일**

**한국기술교육대학교 전기전자통신공학과

A Study on Various Parameters of the PE-CVD Chamber with Wafer Guide Ring

Hyun-Chul Wang* and Hwa-Il Seo**

**School of Electrical, Electronics and Communication Engineering
Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE-CVD) is a widely used technology in semiconductor manufacturing for thin film deposition. The implementation of wafer guide rings in PE-CVD processes is crucial for enhancing efficiency and product quality by ensuring uniform deposition around wafer edges and reducing particle generation. On the other hand, to prevent overall temperature non-uniformity and degradation of thin film quality within the chamber, it is essential to consider various parameters comprehensively. In this study, after applying the wafer guide rings, temperature variations and fluid flow changes were simulated. Additionally, by simulating the temperature and flow changes when applied to the PE-CVD chamber, this paper discusses the importance of optimizing variables within the entire chamber.

Key Words : PE-CVD, Wafer Guide Ring, Semiconductor Equipment, Process Chamber

1. 서 론

반도체 제조 공정에서 플라즈마를 이용한 화학 기상 증착(PE-CVD, Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 기술은 박막을 형성하는 데 중요한 역할을 한다 [1-4]. 또한, 현재의 PE-CVD 공정에서 웨이퍼 가이드 링(wafer guide ring)의 사용은 공정의 효율성과 제품의 품질을 높이는 데 필수적인 요소로 자리잡고 있다. 웨이퍼 가이드 링은 웨이퍼 주변부에서 박막이 보다 균일하게 증착 될 수 있도록 하여, 웨이퍼의 전반적인 품질을 향상시킨다. 특히, 웨이퍼 주변부에서 발생할 수 있는 증착 불균일성을 줄이는 데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 [5-7].

또한, 웨이퍼 가이드 링은 PE-CVD 챔버 내에서 발생할

수 있는 입자 생성을 최소화하여 반도체 디바이스의 성능을 저하시킬 수 있는 주요 원인을 방지한다. 더불어, 챔버 내벽을 보호하여 챔버의 수명을 연장시키는 역할을 수행하여 고온 및 화학적 반응으로 인한 물리적 손상을 줄여주고, 유지보수 주기를 연장시키는 등의 경제적 효과를 나타낸다 [8,9].

반면, 웨이퍼 가이드 링이 PE-CVD 챔버에 적용되기 위해서는 많은 변수를 고려한 후에 적용되어야 한다. 그렇지 않을 경우, 기대했던 바와는 다르게 전체적인 챔버 내의 온도 불균일성을 유발할 가능성이 높다. 이러한 문제는 최종적으로 증착된 박막의 품질과 소자의 성능에 악영향을 미칠 수 있다.

본 논문에서는 웨이퍼 가이드 링 도입 시 발생할 수 있는 잠재적인 문제를 사전에 파악함으로써, 보다 안정적인 웨이퍼 가이드 링 적용을 가능하게 하고자 한다. 또한, 기

*E-mail: hiseo@koreatech.ac.kr

존의 PE-CVD 챔버에 적용했을 때, 온도 변화와 유동의 변화가 어떻게 발생하는지 시뮬레이션을 통하여 고찰함으로써, 전체적인 챔버 내 변수의 최적화의 중요성에 대해서 알리고자 한다.



Fig. 1. A PE-CVD System used in the Semiconductor Industry [Source: Wonik IPS].

2. 온도 및 유동변화 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 모델링

PE-CVD 챔버의 웨이퍼 가이드 링 적용에 따른 내부 온도 및 유동변화를 분석하기 위하여 상용 시뮬레이션 프로그램인 ANSYS를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 웨이퍼 가이드 링의 적용에 따른 효과를 직접적으로 확인하기 위하여 2개의 스테이지가 적용된 PE-CVD 챔버를 기반으로 모델링을 수행하였고, Fig. 2는 모델링이 수행된 챔버의 외형을 보여준다.

또한, Fig. 3에 모델링 된 챔버의 내부 구조를 도시하였다. Fig. 3(a)는 웨이퍼 가이드 링이 적용되지 않은 스테이지 1의 구조를 보여주고, Fig. 3(b)는 웨이퍼 가이드 링이 적용된 스테이지 2의 구조를 나타낸다. 스테이지 2의 구조에서는 웨이퍼의 146.2 mm 반경까지만 스테이지 히터(stage heater)가 접촉되어 열이 가해지는 형태로 공정이 수행되는 환경을 가정하였고, 외곽 3.8 mm 영역은 히터와 접촉하지 않는 특징을 가지고 있다. 또한, 웨이퍼 가이드 링과 스테이지 히터는 0.5 mm 수준의 간격을 유지하도록 모델링을 수행하였다. 스테이지 히터에서 가해지는 공정 온도는 620°C로 설정하였고, 샤워헤드 온도는 300°C로써, 모든 스테이지에 동일하게 적용되도록 하였다.

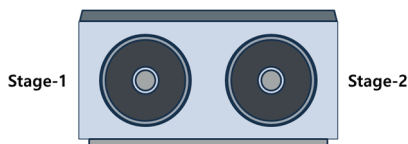
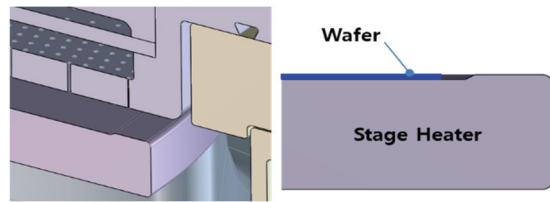
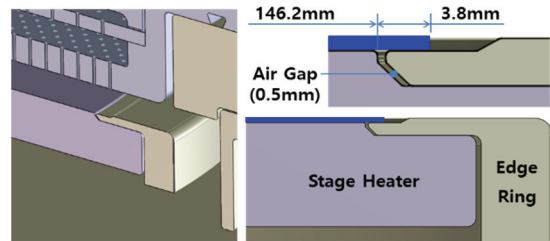


Fig. 2. Schematic view of PE-CVD Chamber with 2 Stages



(a) 3D Model Structure of the Stage



(b) 3D Model Structure of the Stage 3 with the Wafer Guide Ring

Fig. 3. 3D Model Structures for Simulation.

2.2 시뮬레이션 물성

웨이퍼 가이드 링 적용에 따른 PE-CVD 챔버 내의 온도 및 유동변화를 관찰하기 위하여 시뮬레이션 물성은 유동 물성과 온도 물성으로 나누어 각각 적용하였다. Table 1은 본 논문에 적용된 유동 물성치를 나타내고, Table 2는 온도 물성치를 정리하였다.

Table 1. Flow Properties for Simulation

Gas	분자량	유량(SCCM)	질량유량
Ar	39.948	5000(per stage)	1.4861E-04

Table 2. Temperature Properties for Simulation

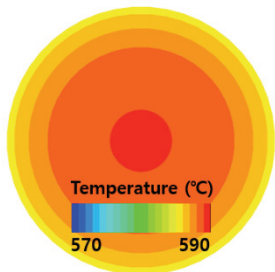
Part	Density (kg/m ³)	Cp (J/kg°C)	Thermal Conductivity (W/m°C)	Emissivity
Chamber, Showerhead, Toplid	2699	900	210	0.35
Wafer Guide Ring	3960	1170	13	0.9
Wafer	2320	883	37.7	0.68
Inner Gas	1	1000	0.01~0.05	-

3. 시뮬레이션 결과

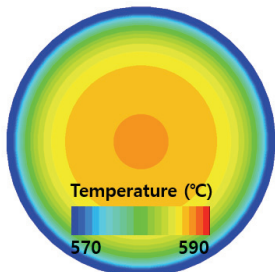
3.1 웨이퍼 가이드 링에 따른 온도변화

웨이퍼 가이드 링을 적용하여 변경된 구조에서의 온도 변화를 관찰하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 웨이퍼 가이드 링을 적용하였을 때 기대한 온도 균일도의 향상과는 반대로, 시뮬레이션 결과 챔버 내부의 평균 온도는 4.33°C 낮아졌으며, 미적용한 경우와 비교하였을 때 웨이퍼 가장자리의 온도는 약 22.1°C의 편차를 나타내었다.

Fig. 4(a)는 웨이퍼 가이드 링이 적용되지 않은 경우의 웨이퍼에 가해지는 온도 분포를 나타내고 있으며, Fig. 4(b)는 웨이퍼 가이드 링이 적용된 후의 온도 분포를 보여준다. 공정 온도는 620°C로 설정되었지만, 실제 웨이퍼에 가해진 온도는 그보다 낮은 570°C에서 590°C의 범위를 나타내었다. 웨이퍼 가이드 링이 적용된 경우, 웨이퍼 가장자리에서 급격한 온도 감소가 발생하는 것이 확인되었으며, 웨이퍼 중앙부에 비해 약 22.1°C 낮아지는 결과를 확인하였다. 이러한 온도 불균일성은 박막 증착의 균일성에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 특히, 웨이퍼 가장자리에서 온도가 급격히 낮아지면 박막의 물리적 특성과 전기적 성질에 영향을 미쳐 제품의 품질을 저하시킬 가능성이 높음을 알 수 있다.



(a) Wafer Temperature Distribution



(b) Wafer Temperature Distribution with the Wafer Guide Ring

Fig. 4. Comparison of Temperature Distribution According to Wafer Guide Ring.

Velocity (m/sec)

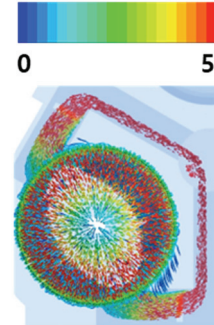
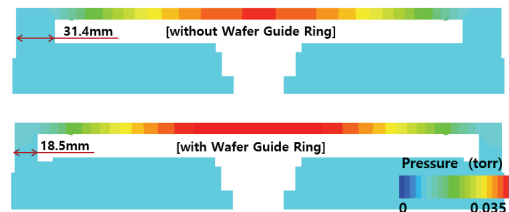


Fig. 5. Contour Plot of Flow Simulation with/without the Wafer Guide Ring.

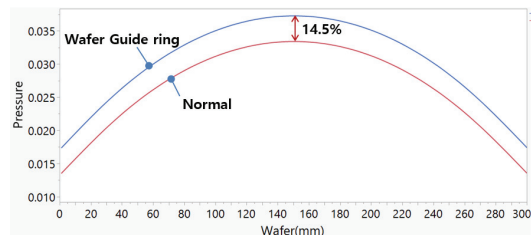
3.2 웨이퍼 가이드 링에 따른 유동변화

PE-CVD 챔버 내부에 웨이퍼 가이드 링을 적용하기 전과 적용 후에 유동 변화 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5는 한 개의 스테이지에서 유동 시뮬레이션 결과 이미지를 보여준다. 챔버 내부와 외부의 속도 차이를 시각화하여 보여주며, 0 ~ 5 m/sec의 속도 범위에서의 움직임을 나타내었다. 내부와 외부의 속도 차이를 비교했을 때, 외부에서 보다 빠른 속도를 나타내었다.

또한, 챔버 내부의 압력은 Fig. 6(a)에서 보여주듯이 웨이퍼 가이드 링을 적용하였을 때, 웨이퍼 주변부의 압력이 약 14.5% 상승한 것을 확인하였다. 웨이퍼 가이드 링 적용 후 챔버 벽면이 얇아지면서 내부의 면적이 넓어졌고, 그로 인하여 압력이 높아진 것으로 판단된다. Fig. 6(b)는 웨이퍼 가이드 링에 따른 압력 변화 그래프를 나타낸다.



(a) Contour Plot of Pressure Distribution



(b) Graph of Pressure Distribution

Fig. 6. Comparison of Pressure Distribution According to Wafer Guide Ring.

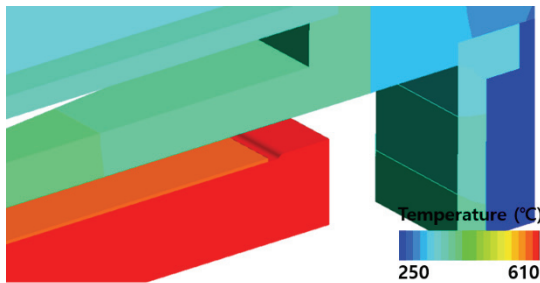
3.3 시뮬레이션 결과 고찰

본 논문에서는 RE-CVD 챔버 내부에 웨이퍼 가이드 링 적용에 따른 온도변화 및 유동변화 시뮬레이션을 수행하였다.

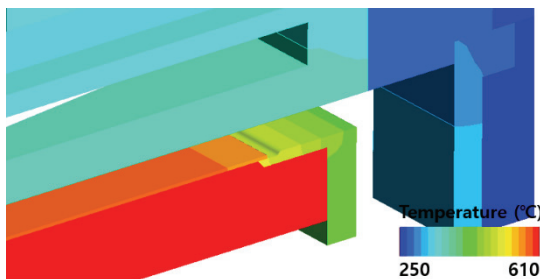
온도변화 시뮬레이션 결과에서 기존에 알려진 온도 균일도 상승과는 다르게 웨이퍼 주변부의 온도가 웨이퍼 가이드 링을 적용하지 않았을 때보다 약 22.1°C의 온도가 하락한 것을 확인하였다. 온도가 하락한 원인으로는 PE-CVD 챔버 내부에 웨이퍼 가이드 링이 장착됨으로써, 스테이지 히터가 웨이퍼를 가열하는 면적이 줄어들어 가장 큰 원인으로 판단된다. 또한, 웨이퍼 가이드 링 자체에는 별도의 발열 기능이 존재하지 않으므로 링을 통하여 웨이퍼에 가해진 열이 이동하여 웨이퍼 주변부에서 온도 감소가 발생한 것을 알 수 있다. Fig. 7(a)에 웨이퍼 가이드 링이 적용되지 않은 챔버의 단면 이미지를 나타내었고, Fig. 7(b)에 적용 후의 챔버 단면 이미지를 나타내었다.

또한, 유동변화 시뮬레이션에서는 웨이퍼 가이드 링이 적용됨에 따라 내부의 면적 변화가 압력의 변화를 발생시킨 것으로 판단된다.

웨이퍼 가이드 링을 적용할 경우, 대부분 기존의 제작된 챔버에 부품을 장착하는 방식을 사용하게 된다. 이러한 부품을 장착하여 내부의 구조를 변경할 경우에는 변경된 구조 및 면적에 따른 변화들에 대한 최적화의 중요성이 보다 높아지는 것을 반드시 고려해야 한다.



(a) A Sectional View of Chamber



(b) A Sectional View of Chamber with the Wafer Guide Ring

Fig. 7. Comparison of Temperature and Structure with/without the Wafer Guide Ring.

4. 결론

본 논문에서는 PE-CVD 공정에서 웨이퍼 가이드 링의 적용이 챔버 내부 온도 및 유동 변화에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 모델링은 2개의 스테이지가 적용된 PE-CVD 챔버를 기반으로 모델링되었다.

웨이퍼 가이드 링을 적용한 경우, 예상과 달리 웨이퍼 가장자리의 온도가 약 22.1°C 낮아지는 현상이 관찰되었다. 이는 웨이퍼 가이드 링의 적용으로 인해 스테이지 히터와 웨이퍼의 접촉 면적이 줄어들어 웨이퍼 주변부의 온도 불균일성이 증가한 것으로 판단된다. 이러한 온도 불균일성은 박막 증착의 균일성에 부정적인 영향을 미치며, 웨이퍼의 물리적 및 전기적 성질을 저하시킬 가능성이 높다.

또한, 웨이퍼 가이드 링의 적용으로 챔버 내부의 압력이 약 14.5% 상승하는 것이 확인되었다. 웨이퍼 가이드 링이 챔버 내부의 면적을 변화시켜 내부 압력 분포에 영향을 미친 결과로 분석된다. 챔버 벽면이 얇아지면서 내부의 유동 속도와 압력이 증가한 것을 확인하였다.

시뮬레이션 결과에서 확인하였듯이 웨이퍼 가이드 링을 기존 챔버에 추가 장착하는 방식은 구조와 면적 변화에 따른 영향을 반드시 고려해야 한다. 변경된 구조로 인해 발생하는 온도 및 유동 변화는 공정의 안정성과 제품 품질에 직접적인 영향을 미치므로, 최적화된 설계를 통해 이러한 변화를 최소화하는 것이 매우 중요하다.

결론적으로 본 논문의 시뮬레이션 결과는 웨이퍼 가이드 링의 적용이 PE-CVD 공정에서 기대되는 온도 균일도 향상에 항상 기여하지 않을 수 있음을 시사한다. 그러므로, 웨이퍼 가이드 링의 설계와 적용 방식에 대한 추가적인 연구와 최적화가 필요하다. 이 연구는 반도체 제조 공정의 일관성과 품질을 유지하기 위한 공정 안정화 방안을 제시하며, PE-CVD 챔버 설계와 운용에 있어 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. H.C. Wang and H.I. Seo, "RF Loss Minimization Method Using High Impedance Filter for Research" J. of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 19,

- No. 1, pp. 55-60, 2020.
2. H.C. Wang and H.I. Seo, "A Study on improvement of heater rod adhesion in semiconductor equipment" *J. of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 67-72, 2020.
 3. Franz, G., Plasma enhanced chemical vapor deposition of organic polymers. *Processes*, 2021. 9(6): p. 980.
 4. Trebuňová, M., et al., The WC and CrC Coatings Deposited from Carbonyls Using PE CVD Method—Structure and Properties. *Materials*, 2023. 16(14): p. 5044.
 5. Park, H.K., W.S. Song, and S.J. Hong, In Situ Plasma Impedance Monitoring of the Oxide Layer PECVD Process. *Coatings*, 2023. 13(3): p. 559.
 6. Zhou, J., et al., Effects of process parameters and chamber structure on plasma uniformity in a large-area capacitively coupled discharge. *Vacuum*, 2022. 195: p. 110678.
 7. Fu, X., et al., Modelling and optimization of film thickness variation for plasma enhanced chemical vapour deposition processes. *Chinese Optics Letters*, 2013. 11(s1): p. 010209-310213.
 8. Ku, C.-M. and S. Cheng, Factor design for the oxide etching process to reduce edge particle contamination in capacitively coupled plasma etching equipment. *Applied Sciences*, 2022. 12(11): p. 5684.
 9. Longaretti, P.-Y., Stationary dynamics of planetary ring edge modes at Saturn's B ring edge. *Icarus*, 2024: p. 115978.
-
- 접수일: 2024년 5월 28일, 심사일: 2024년 6월 21일,
게재확정일: 2024년 6월 21일