

HDP CVD 챔버 형상 변화에 따른 가스 유동 균일성에 대한 연구

장경민[†] · 김진태^{**} · 홍순일^{**} · 김광선^{***}

[†]한국기술교육대학교, ^{*}MEMC Korea, ^{**}NEST, ^{***}한국기술교육대학교

Study for Gas Flow Uniformity Through Changing of Shape At the High Density Plasma CVD (HDP CVD) Chamber

Kyung Min Jang[†], Jin Tae Kim^{*}, Soon Il Hong^{**} and Kwang Sun Kim^{***}

[†]Korea University of Technology and education

^{*}MEMC Korea, ^{**}NEST

^{***}Korea University of Technology and education

ABSTRACT

According to recent changes in industry for the semiconductor device, a gap between patterns in wafer is getting narrow. And this narrow gap makes a failure of uniform deposition between center and edge on the wafer. In this paper, for solving this problem, we analyze and manipulate the gas flow inside of the HDP CVD chamber by using CFD(Computational Fluid Dynamics). This simulation includes design manipulations in heights of the chamber and shape of center nozzle in the upper side of the chamber. The result of simulation shows 1.28 uniformity which is lower 3% than original uniformity.

Key Words : CVD, CFD, Uniformity, Gas Flow

1. 서 론

1.1. 연구의 배경

화학기상 증착(Cheical Vapor Deposition; CVD)이란 기체상태의 원소나 화합물로부터 화학반응과 열분해를 통하여, 모재 표면에 모재와 동종 또는 이종의 고체 상태 박막이나 입자 등을 생성하는 과정으로 정의할 수 있다. CVD란 용어는 1962년 Blocher와 Oxley¹⁾에 의해서 최초로 사용되기 시작하였으며, 실제 사용은 이보다 오래 전인 19세기 말엽의 백열전구 산업에서 찾을 수 있다.²⁻³⁾ 당시에 쉽게 끊어지는 필라멘트를 강화하기 위하여 사용된 이 기술은 현재 단결정 박막 성장 등 반도체 제조에서의 활용으로 중요성이 더욱 커지고 있다.

CVD는 화학 반응 환경에 따라 여러 가지 방식이 존재 하는데, 그 중 Plasma Enhanced CVD(PECVD)방

식은 RF 에너지를 기판 표면 근처의 반응영역에 인가하여 반응가스를 플라즈마화 한 상태에서 증착이 이루어지는 방식이다. 반응가스의 플라즈마화를 통하여 공정가스 사이에 필요한 에너지를 낮추어 공정온도를 낮출 수 있는 이점이 있다. 그러나 PECVD에서 층간 절연막을 형성하는 경우, 실리콘 산화막이 증착된 웨이퍼를 800°C 이상 고온으로 열처리하여 좁고 깊은 갭을 기공 없이 충전하게 된다. 이로 인해 소자가 열화되는 문제가 발생한다. 또, 최근 반도체 소자의 집적도가 증가함에 따라 개별 소자 또는 금속 배선사이 간격, 그리고 STI(Shallow Trench Isolation)의 폭이 점차 좁아지고 있는데, 이에 따라 트랜치의 깊이와 패턴간극의 비율인 종횡비(aspect ratio)가 증가하여 산화막을 트랜치에 매립하는 Gap-fill 공정이 어렵게 된다. 이를 해결하기 위하여 고밀도 플라즈마(High Density Plasma; HDP)를 이용하는 방법이 개발되어 사용되고 있다. HDP공정에서는 증착 과정 중에 스퍼터링에 의한 식각이 동시에 발생하기 때문에 높은 종횡비를 갖는 갭을 공극 없이

[†]E-mail : gstyners@kut.ac.kr

채우는 것이 가능 하다. 이 과정에서 갭이 좁아질 수록 증착과 스퍼터링이 웨이퍼의 중심과 가장자리에서 균일하게 진행되어야만 양호한 Gap-fill 공정이 가능하다. 이를 위해서는 플라즈마 밀도분포 제어와 챔버 내의 균일한 가스밀도 분포 제어가 핵심이라 할 수 있다.

1.2. 연구 동향

반도체와 관련하여 CVD연구가 시작된 것은 20세기 후반이다. F.C.Eversteyn 등⁴⁾은 수소를 수송가스로 하고, 를 원료 가스로 하는 CVD 반응기 형상에 관한 연구를 발표하였는데, 여기서는 정제된 유동이 존재할 경우 반응기 내부의 온도구배와 대류와의 관계에 중점을 두었다. Chiu와 Jaluria⁵⁾는 동일한 형상의 반응기를 수직형과 수평형으로 적용하여 연구하여 반응기 내부에서 화학반응이 일어나지 않는 경우라도 반응면 온도와 Nusselt수의 분포영향을 통하여 부착율과 균일성을 예측할수 있다고 하였다. CVD와 관련한 국내 연구는 이미 80년대와 90년대에 활발히 이루어졌다. 오성진 등⁶⁾은 수평 CVD반응기에서의 3차원 혼합대류의 열전달 특성을 규명하였고, 조원국 등⁷⁾은 반응면에 균일한 박막을 형성하기 위한 입구농도에 대하여 고찰하였다. 최근 발표된 연구로서는 김진태⁸⁾가 발표한 ‘수직형 CVD 장비에서 가스 흐름 균일성 향상을 위한 gas nozzle 형상 개선에 대한 연구⁹⁾’ 있다. 그러나 아직까지 챔버의 형상변경에 따른 가스 흐름 균일성에 대한 연구는 보고 되지 않고 있다.

여러 연구에서 밝히고 있듯이 플라즈마 증착 공정에서 증착 균일성에 영향을 미치는 변수는 매우 많다. 본 연구에서는, 여러 변수 중 증착 균일성에 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있는 가스 유동 속도를 최적화 하고자 수치 해석적 기법을 적용하여 기존 HDP CVD 챔버의 높이와 중심부 Center nozzle의 형상변경을 통하여 가스 흐름의 균일성을 개선 하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 해석 모델

본 연구에서 사용된 HDP CVD챔버는 Gas nozzle이 챔버 내벽을 따라 균일하게 배치되고, 가스의 배출구인 펌프가 챔버 중심에 위치하여 기체 흐름이 웨이퍼를 중심으로 흐르게 되는 Center Pump개념을 사용하고 있다. Fig. 1은 전체적인 챔버의 형상을 나타내고 있다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 해석에 사용한 챔버의 3차원 형상과 생성한 격자를 나타낸다. Fig. 2에 Baffle이라고 표시된 부분이 중앙 Center Nozzle이다.

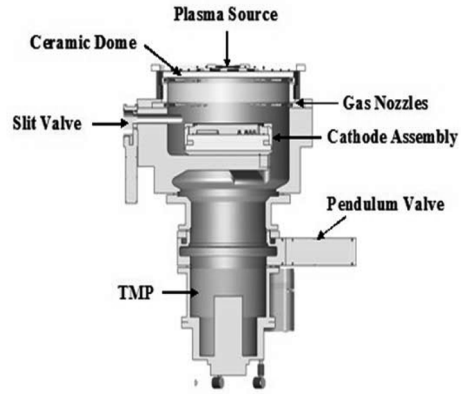


Fig. 1. Schematic of the HDP CVD.

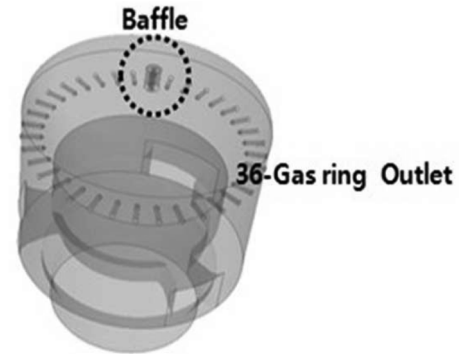


Fig. 2. Simulation Model.

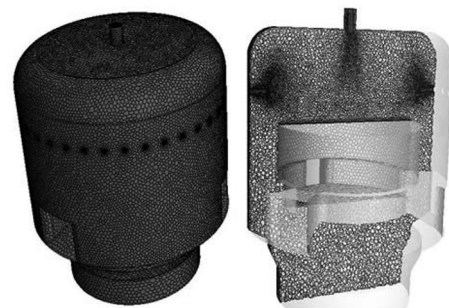


Fig. 3. Grid Generation.

본 연구에서 다루는 HDP CVD 챔버에서 가스 흐름의 균일성에 영향을 미치는 형상 인자는 내벽을 따라 배열된 36개의 환형 Side Nozzle과 중앙 천장부의 Center Nozzle, 그리고 챔버 자체의 형상이다. 환형 Side Nozzle의 가스 흐름 균일성은 기존 연구에서 이미 발표된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 Side Nozzle에 대하여 기 발표된 자료를 활용하고, 기존 챔

버의 Center nozzle과 챔버 높이 변경에 대한 연구만을 수행한다. Fig. 4는 본 연구를 위하여 변경한 챔버의 형상이다. Fig. 5는 본 연구에서 새롭게 적용한 50 mm center nozzle이다.

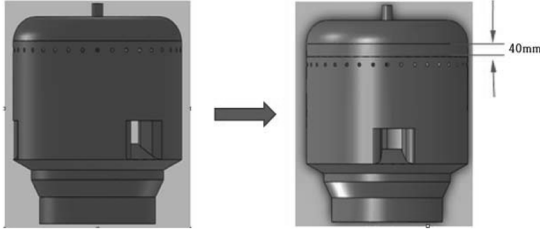


Fig. 4. Modified Chamber.

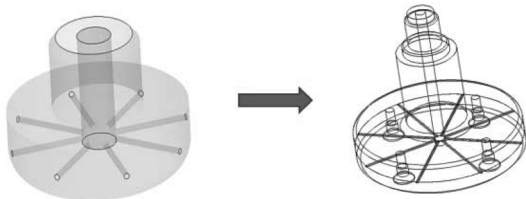


Fig. 5. 50 mm center nozzle.

2.2. 수치 해석의 이론적 배경

본 연구는 반응로 내의 유동장을 연속체로 가정하여 해석한다. 유체의 연속성 여부는 입자의 평균 자유경로 λ 와 해석 대상의 특성길이 L 의 비인 Knudsen 수 ($Kn=\lambda/L$)로 평가할 수 있다. Kn 수가 0.01 이하인 경우를 연속체로 볼 수 있는데, 통상적인 CVD 챔버의 경우 평균 자유경로는 10^{-3} cm 수준에 불과하여 특성길이 1 cm의 초소형 반응로일지라도 연속체로 가정할 수 있다. 또 본 해석에서 다루는 유체의 레이놀즈 수는 100 이하이므로 층류로 가정할 수 있고, 유속은 음속보다 작으므로 비압축성으로 가정하여 풀 수 있다. 따라서 본 연구의 지배방정식은 비압축성 정상상태 유동의 Navier-Stokes 방정식을 지배 방정식으로 한다.

유체 및 에너지 유동을 지배하는 지배방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존 법칙을 미소 체적에 적용한 비선형 연립 편미분 방정식이다. HDP CVD 장비는 항상 항온에서 작동하므로 에너지해석은 제외한다.

2.3. 지배 방정식

2.3.1 질량 보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \vec{V}) = 0$$

위 방정식은 압축성 유동 뿐 아니라 비압축성 유동에서도 적용되는 일반적인 질량보존 방정식이다. 본 연구에서 생성항 S_m 은 0으로 간주한다.

2.3.2 운동량 보존 방정식

$$\rho(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} + \rho g$$

위 방정식은 비압축성 정상상태 유동에서의 운동량 보존 방정식이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 경계 조건

본 연구에서는 총 3가지 경우를 다룬다. 챔버의 높이에 따른 가스 흐름의 균일성, Center Nozzle 변경에 따른 가스 흐름의 균일성, 그리고 높이와 Center Nozzle 변경에 따른 가스 흐름의 균일성이다. 각각의 경우에 있어서 경계 조건은 아래 표와 같이 모두 동일하게 적용하였다. Table 1은 공정에 사용되는 가스들의 물성치를 나타낸다. Table 2는 Center Nozzle에서 분사되는 가스들의 경계조건, Table 3은 36개의 환형 Side Nozzle 중 24개 노즐에서 분사되는 가스들의 경계조건, Table 4는 나머지 12개 노즐에서 분사되는 가스들의 경계조건이다.

3.2. 수치해석 결과 및 실험

수치해석은 상용 CFD 소프트웨어인 Star-CCM+ 4.02 버전으로 진행하였다. 가스 흐름 균일도는 챔버에

Table 1. Properties of gases

구 분	Silane	Oxygen	Helium
분자식	SiH ₄	O ₂	He
밀도(kg/m ³)	1.308	1.308	0.163
점성(Ns/m ³)	1.09e-5	2.05e-5	1.99e-5
정압몰비열(J/kg K)	640.745	920.425	5197.62
분자량(kg/kmol)	32.12	32	4.003

Table 2. Process Condition(Center Nozzle)

	Center Nozzle(Phi = 3 mm)				
	물질량	밀도	Volume rate	Mass rate	Velocity (m/s)
Ar	39.948	1.634	50.000	81.689	0.236
SiH ₄	32.118	1.314	50.000	65.678	0.236
O ₂	32.000	1.309	0.000	0.000	0.000

Table 3. Process Condition(Side Nozzle_24ea)

Side Nozzle(24ea, Phi = 3 mm)					
	물질량	밀도	Volume rate	Mass rate	Velocity (m/s)
Ar	39.948	1.634	6.250	0.425	2.191
SiH ₄	32.118	1.314	3.042	0.166	2.191
O ₂	32.000	1.309	0.000	0.000	0.000

Table 4. Process Condition(Side Nozzle_12ea)

Center Nozzle(12ea, Phi = 3 mm)					
	물질량	밀도	Volume rate	Mass rate	Velocity (m/s)
Ar	39.948	0.000	0.000	0.000	0.000
SiH ₄	32.118	0.000	00.000	0.000	0.000
O ₂	32.000	1.309	20.500	26.829	4.834

서 웨이퍼가 위치하는 부분의 상단 1 mm 위치에 수평면을 생성하고 Fig. 6과 같이 33개의 표본점을 추출하여 균일도를 계산하였다.

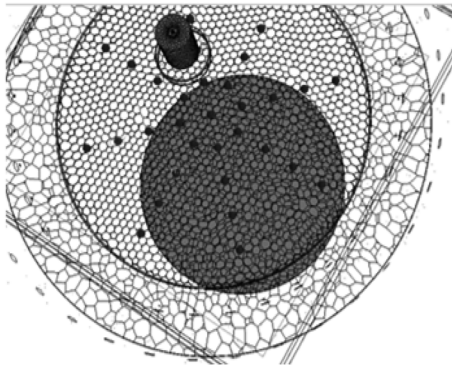


Fig. 6. Sample Plot.

표본점으로부터 균일도를 계산하는 계산식은 다음과 같다.

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}}{m\sqrt{n}}$$

Fig. 7은 기존의 아무런 수정도 하지 않은 챔버에 동일 조건으로 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다. 이 결과는 형상 조건이 변경된 다음 시뮬레이션들에 대한 기준이 된다. Fig. 8은 첫번째 경우로, 40 mm 스페이서를 삽입하여 챔버의 높이만을 높인 경우에 속도 분포를

나타낸다. Fig. 9은 챔버의 높이는 변경하지 아니하고 Center Nozzle을 새로운 형태의 50 mm Nozzle로 변경한 경우의 속도분포이다. Fig. 10는 챔버의 높이도 높이고, Center Nozzle도 변경한 경우의 속도 분포를 나타낸다.

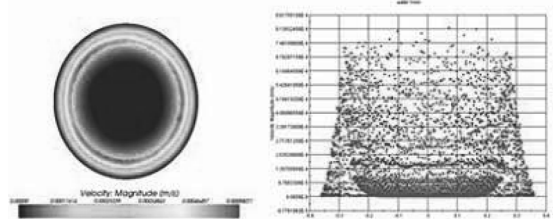


Fig. 7. Velocity distribution of Original model.

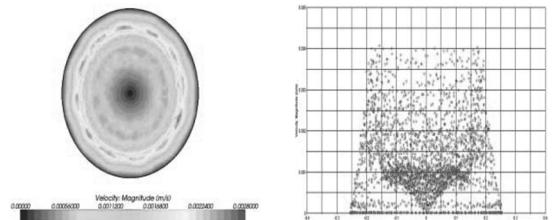


Fig. 8. Velocity distribution of Case 1.

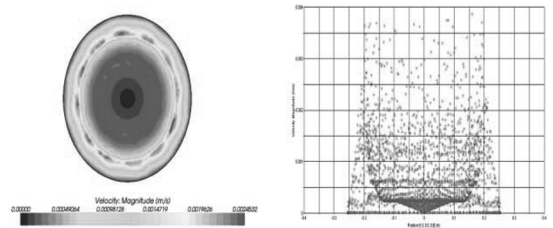


Fig. 9. Velocity distribution of Case 2.

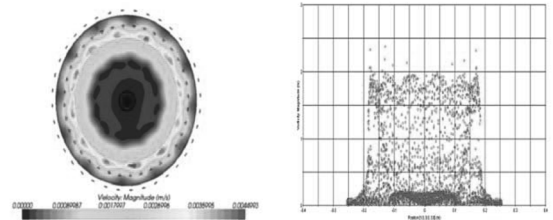


Fig. 10. Velocity distribution of Case 3.

또 수치해석을 검증하기 위하여 실제로 제작된 CVD 챔버에서 실험한 Wafer 상의 증착률을 바탕으로 시뮬레이션을 검증하였다. 이 결과를 Table 5에 나타내었다. 실험값은 공정을 통하여 증착된 웨이퍼를 검사하

여 측정된 증착 균일도를 나타낸다. 앞에서 밝혔듯이 공정가스 흐름의 균일도는 증착율에 큰 영향을 미치는 인자이므로 시뮬레이션 상에서 가스 흐름 균일도는 실제 증착이 이루어진 웨이퍼의 증착 균일도와 연관지어 생각 할 수 있다.

Table 5. Result of Gas Flow Uniformity

	Simulation	Experiment
Original	2.6	3.23
Case 1	3.01	4.78
Case 2	2.74	4.17
Case 3	1.28	2.52

4. 결 론

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 를 비교하여 보면, Fig. 8의 경우 웨이퍼가 장착되는 영역에서 웨이퍼 중심부와 가장자리의 속도점 분포가 균일하지 못하고 가스 흐름 균일도 또한 기존 결과보다 좋지 않다. Fig. 9의 경우 가스 흐름 균일도는 기존의 결과와 비슷한 값을 보이거나, 웨이퍼 가장자리와 중심부의 속도 편차 문제가 완벽히 해결되지는 않았다. 반면 Fig. 10는 웨이퍼 가장자리와 중심부 속도분포의 편차가 거의 발생치 않고 웨이퍼 상부에서의 가스 흐름 균일도에 있어서도 기존의 결과보다 더 나은 결과를 보여준다. 이는 챔버의 높이만을 높였을때와 중앙 Center Nozzle만을 변경하였을 때, 각각의 경우에 있어서 가스 흐름 균일도는 크게 나아진 점이 없었으나 두 경우를 혼합하였을 때는 증착 균일성이 크게 나아짐을 나타낸다. 실제 실험을 통하여 얻은 값을 살펴 보아도 두 가지 경우를 혼합한 경우에 더 나은 증착 균일성을 보이는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 HDP CVD 증착공정에서 증착 균일도 향상을 위하여 중요한 요소인 가스 흐름 균일도와 챔버 형상에 관한 내용을 다루었다. 기존 장비에서 챔버의 높이와 Center Nozzle의 형상 변경에 따라 가스 흐름 균일도를 계산한 결과 균일도가 2% 대까지 향상되었다. 이번 연구에서는 챔버 형상이 가스 흐름 균일

도에 미치는 영향을 개략적으로 연구 하였지만, 향후 연구에서는 여러가지 형상 인자에 대한 민감도 테스트와 이를 바탕으로 한 최적화된CVD 챔버 형상 모델을 제시해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육연구진흥비 지원하에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Bolocher, J.M., and Oxley, J.H., "Chemical vapor deposition opens new horizons in ceramic technology", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.41 pp.81-84, 1962.
2. Powell, C.F., Vapor deposition, New York Wiley, 1966.
3. Hiroshi, K., CVD핸드북,(공역) 이시우, 이진, 반도체출판사, 1922.
4. F.C. Eversteyn, P.J.W. severin, C.H.J.v.d. Brekel, and H.L. Peek, "A Stagnat Layer Model for the Epitaxial Growth of Silicon from Silane in a Horizontal Reactor", Journal of the Electrochemical Society, Vol.117, pp.925-931, 1970.
5. Chiu, W.K.S., and Jaluria, Y., "Heat and Mass Transfer in Continuous CVD Reactor," Pro. 11th Int. Heat Transfer Conf., Vol. 5, pp.187-192, 1998.
6. 오성진, 박경우, 김기문, 박희용., "수평 CVD 반응기에서의 3차원 혼합대류 열전달 특성," 대한 기계학회 논문집 B권, 제22권 제5호, pp.672-684, 1998.
7. 조원국, 최도형, 김문언., "원통형 화학증착로에서 균일한 박막 형성을 위한 입구 농도분포 최적화", 대한 기계학회 논문집 B권, 제22권 제2호, pp.173-183, 1998.
8. 김진태, "반도체 공정에서의 HDP CVD 챔버 최적형상에 관한 연구", 한국기술교육대학교 석사학위 논문, 2009.

접수일: 2010년 11월 29일, 1차심사일: 2010년 12월 6일
2차심사일: 2010년 12월 13일, 게재확정일: 2010년 12월 17일