

PECVD Chamber 구조가 SiO₂ 박막 증착의 균일도에 미치는 영향에 관한 연구

김성재, 김헌창, 임계규
호서대학교 화학공학과

Numerical Studies on Effect of Chamber Geometry
on Uniformity of SiO₂ Deposited by PECVD

Seong Jae Kim, Heon Chang Kim and Kye Kyu Lim
Department of Chemical Engineering, Hoseo University

서론

우리 나라를 비롯하여 전 세계적으로 반도체 산업은 지난 십 년간 집적회로 설계와 박막 처리기술의 발달과 함께 고성장을 해 왔다. 앞으로 더욱 복잡하고 많은 회로를 더욱 작게 집적한 차세대 반도체 (0.18 μ m 이하) 생산을 위하여 새로운 박막 재료의 개발과 제조 기술에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 이와 함께 반도체 장비업계에서는 개발된 재료의 박막 처리를 할 수 있는 새로운 장비의 개발이나 기존 장비의 개조가 필요하게 되었다. 특히 현재 소자업계에서는 생산성을 높이기 위하여 웨이퍼의 크기를 200mm에서 300mm로 전환하는 추세이며 2010년경에는 450mm 웨이퍼를 사용할 것으로 전망된다. 이에 따라 보다 넓은 웨이퍼에 보다 균일하게 박막 처리를 할 수 있는 장비의 필요성이 더욱 중요하게 되었다.

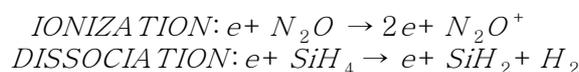
반도체 가공시 증착되는 박막의 두께와 특성 그리고 증착속도는 웨이퍼 표면위의 화학종 농도와 온도에 영향을 받으므로 넓은 표면을 원하는 박막 재료로 균일하게 증착시키기 위해서는 표면위의 화학종 농도와 온도 분포가 균일하여야 한다. 특히 플라즈마를 이용한 PECVD에서는 플라즈마 밀도·전위 등 플라즈마 특성도 균일하여야 한다. 이러한 chamber 내 분포의 균일도는 공정조건과 함께 원료가스의 주입방식을 포함한 chamber의 구조에 따른 유동특성에 의하여 결정되며 중성가스와 플라즈마의 유동과 전자에 의한 반응 및 표면반응 등을 고려한 전산유체역학으로 예측할 수 있다. 본 논문에서는 SiH₄/N₂O/N₂ 혼합 가스를 사용하여 300mm 웨이퍼 표면에 균일한 SiO₂ 박막을 증착시킬 수 있는 최적의 PECVD 장비개발에 필요한 자료를 도출하기 위하여 상용 전산유체역학 프로그램^[1]을 이용하여 chamber 구조에 따른 장비의 성능 및 특성을 예측·분석하였다.

본론

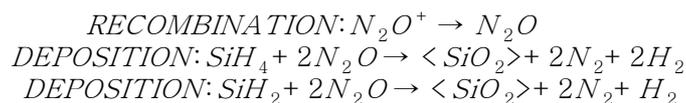
본 연구에서 고려한 PECVD chamber의 개략도를 Fig. 1.에 나타내었다. 웨이퍼는 접지시킨 전극에 두어 이온 충돌에 의한 sputtering 효과를 최소화시키고, 플라즈마를 발생시키기 위하여 전압을 걸어주는 상단의 전극에 무수히 많은 pin-hole들이 있는 showerhead를 통하여 원료가스가 chamber 내부로 분사된다. 특히 원료가스의 주입구와 근접한 거리에 baffle을 놓아 원료가스가 showerhead의 pin-hole을 통하여 보다 균일하게 분사되도록 하였다. 먼저 표면반응에 중요한 역할을 하는 웨이퍼 표면 근처의 온도와 농도 분포에 미치는 baffle 구조의 영향을 알아보기 위하여 열 전달만을 고려한 유체유동에 대하여 3차원적 전산모사를 하였다. 여러 가지 고려된 구조 중 본 논문에서는 기본 구조로 지름이 100mm 정도인 원판형 baffle (Baffle-1), 중심으로부터 약 30mm의 거리에 90°간격으로 4개의 pin-hole이 있는 baffle (Baffle-2), 그리고 지름이 Baffle-1의 반 정도인 baffle (Baffle-3) 구조에 대하여 다루었다. 웨이퍼가 놓이는 heater는 약 400°C로 균일하게 가열되고 chamber의 외벽은 상온으로 냉각된다고 가정하였다. 주입구를 통하여 유입된 원료 가스는 baffle 중심에 도달하여 압력이 증가에 따른 단열압축효과로 온도상승과 함께 baffle에 의

하여 방사 방향으로 분산된다. 분산된 가스는 baffle의 가장자리에서 방사방향과 축 방향으로 분리되며 전달되는 운동량에 의하여 vortex를 형성한다. 이 vortex가 생기는 위치는 baffle 크기가 같은 Baffle-1과 Baffle-2의 경우 Baffle 가장자리에서 조금 떨어진 곳에 생기고 baffle-3의 경우 baffle의 크기는 작아 약간 안쪽으로 치우치나 baffle-1과 비슷한 위치에 생긴다. Vortex가 생성된 곳에는 온도가 상승한 위쪽 가스와 혼합되어 다른 곳보다 온도가 상승하게 된다. Baffle-1과 Baffle-2의 경우 vortex가 생기는 위치에서 baffle 가장자리가 가스의 혼합을 어느 정도 저지하는 역할을 하지만 Baffle-3의 경우는 vortex가 baffle에서 상당히 떨어진 곳에 생성되어 baffle 밑쪽의 온도가 다른 곳보다 많이 상승하게 되므로 baffle의 크기를 줄이는 것은 온도 분포의 균일도에 좋지 않은 영향을 미칠 것임을 예측할 수 있다. 웨이퍼 표면과 매우 근접한 거리에서 웨이퍼의 중심으로부터 방사방향으로 온도와 밀도의 분포를 각 경우에 대하여 Fig. 2.에 나타내었다. 세 경우 모두 중심에서 멀어질수록 온도는 감소하나 밀도는 증가하는 경향을 볼 수 있으며 중심으로부터 반경 60~80mm까지의 온도와 밀도는 거의 균일한 반면 이 위치에서 웨이퍼 가장자리로 갈수록 온도변화에 비해 밀도변화가 더욱 급격히 증가하는 경향을 보이고 있어 증착속도는 웨이퍼 중심으로부터 가장자리로 갈수록 증가할 것이라 예측할 수 있다. 특히 온도와 밀도가 급격하게 변하기 시작하는 위치는 baffle에 의하여 vortex가 생기는 위치와 거의 일치함을 알 수 있다. Fig. 2.로부터 Baffle-1과 Baffle-2를 사용한 경우에 Baffle-3에 비하여 보다 균일한 박막을 얻을 수 있을 것이라 추측된다.

Baffle을 포함한 PECVD chamber 구조가 증착되는 SiO₂ 박막의 균일도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 플라즈마의 물리적/화학적 작용과 표면에서의 박막증착반응을 모두 고려하여 전산모사를 하였다. 일반적으로 플라즈마 환경에서 복잡하게 일어나는 수많은 기상화학반응들은 원료가스 중 가장 많이 주입되는 N₂O의 이온화반응에 의하여 플라즈마가 유지되고, SiH₄가 전자와의 충돌에 의하여 SiH₂로 분해되는 반응이 limiting step으로 박막증착속도를 결정한다는 가정으로 다음과 같이 간략화 하였다.



여기에서 e는 전자를 나타낸다. 또한 웨이퍼 표면에서는 다음과 같은 표면화학반응을 고려하였다.



위에 나열된 반응들을 고려한 2차원적 전산모사로 얻어진 PECVD chamber 내부의 기상반응속도분포와 이에 따른 전자밀도의 분포를 Fig. 3.에 나타내었다. 여기서 Baffle-1-new는 Baffle-1구조에서 플라즈마를 발생시키는 전극의 간격을 줄이고, pin-hole의 수를 약 4배가량 증가시킨 showerhead를 사용하였으며, showerhead 바깥쪽의 위로 돌출된 부분의 모양을 변형시킨 구조를 나타낸다. 앞에서 설명한 바와 같이 showerhead에는 플라즈마를 발생시키는 rf power source가 연결되어 있으며 접지된 나머지 chamber 벽과 절연물질로 분리되어 있다. 일반적으로 절연물질과 전극이 접해있는 곳에서 강력한 전장이 발생하기 때문에 이곳에서 이온화가 가장 많이 일어난다. 이온화반응에 의하여 계속적으로 생성되는 전자와 이온은 power를 걸어주는 전극과 ground된 전극사이에 생성되는 전장에 의하여 chamber 내부 전체로 확산되어 플라즈마를 형성하며 showerhead의 pin-hole로부터 분사되어 나오는 신선한 원료 가스는 전자에 의하여 분해되어 박막증착에 필요한 precursor를 생성한다. 기상반응에서 생성된 SiH₂와 같이 전하를 띄지 않는 성분들은 방사 방향으로 흐르는 유체를 따라 유동한다. Showerhead의 pin-hole에서 이온화나 분해되지 않은 신선한 원료가스가 계속 공급되므로 구멍 주위보다 이온화 및 분해반응이 높아 전자밀도 및 precursor의 밀도가 높다. 이로 인하여 chamber 중심에서 방사방향으로 이온화 및 분해속

도의 분포, 전자밀도의 분포가 물결치는 것과 같은 현상을 보인다. 이러한 경향들은 박막 증착속도의 분포도 유사한 경향을 보일 것이라 예측할 수 있다. 또한 Fig. 3.에서 볼 수 있듯이 이온화 및 분해반응, 전자밀도 등 플라즈마의 특성은 baffle구조에 거의 영향을 받지 않으며 chamber의 형태나 공정조건에 더욱 영향을 받는다. 특히 Baffle-1-new 구조가 Baffle-1 구조보다 원료가스가 유입되는 showerhead의 pin-hole 수가 많아 파동의 진폭크기가 줄어 박막증착속도의 분포가 보다 균일할 것으로 보인다. 그러나 전체적으로 chamber 중심에서 방사방향으로 갈수록 증가하는 이온화 및 분해 반응에 따라 전자밀도 및 precursor의 밀도가 증가하여 박막증착 속도도 증가할 것으로 보인다. 이러한 예측은 웨이퍼 중심에서 방사방향으로 SiO₂ 박막의 증착속도 분포를 나타낸 Fig. 4.에서 확인할 수 있다.

결론

SiH₄/N₂O/N₂ 혼합가스를 사용하여 SiO₂ 박막을 증착시키는 PECVD 공정에 대하여 전자와의 충돌에 의한 화학반응과 표면반응을 고려한 유체역학적 전산모사로 PECVD chamber 구조가 증착되는 SiO₂ 박막의 균일도에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 열전달만을 고려한 유체유동에 대한 3차원적 전산모사로 baffle 구조가 PECVD chamber 내부의 유체유동과 이에 따른 웨이퍼 표면 근처의 온도와 밀도의 분포에 미치는 영향을 예측하여 증착될 SiO₂ 박막의 균일도에 대하여 분석하였다. 또한 플라즈마의 물리적/화학적 특성과 표면화학반응을 모두 고려한 2차원적 전산모사로 웨이퍼 표면에서의 SiO₂ 박막증착속도의 분포를 예측하였다. 전산모사의 결과로 보아 증착되는 SiO₂ 박막의 균일도는 baffle 구조보다는 chamber의 형태나 공정조건에 더욱 영향을 받을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 고려한 공정조건에서는 구조에 따라 정도의 차이는 있지만 전체적으로 웨이퍼 중심에서 가장 자리로 갈수록 박막두께가 증가할 것으로 보인다.

감사

본 연구는 (주)아토의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] CFD Research Corporation, CFD-ACE+ Users Manual, 2001.

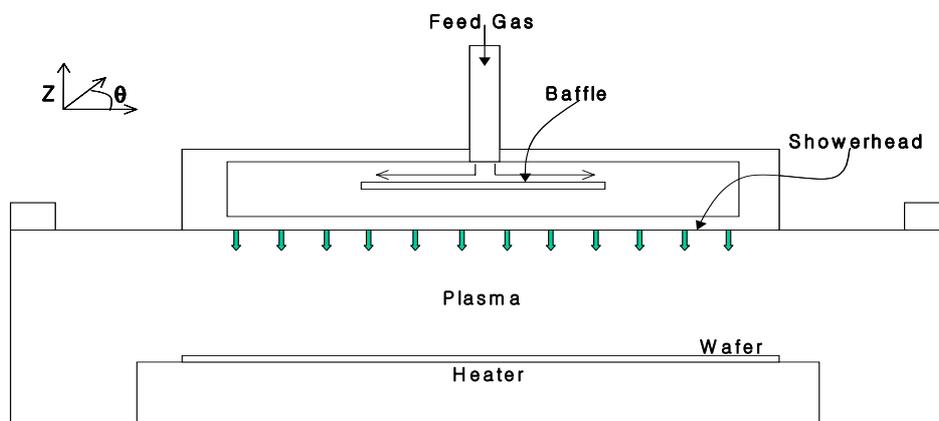


Fig. 1. Schematic of PECVD chamber considered for deposition of SiO₂.

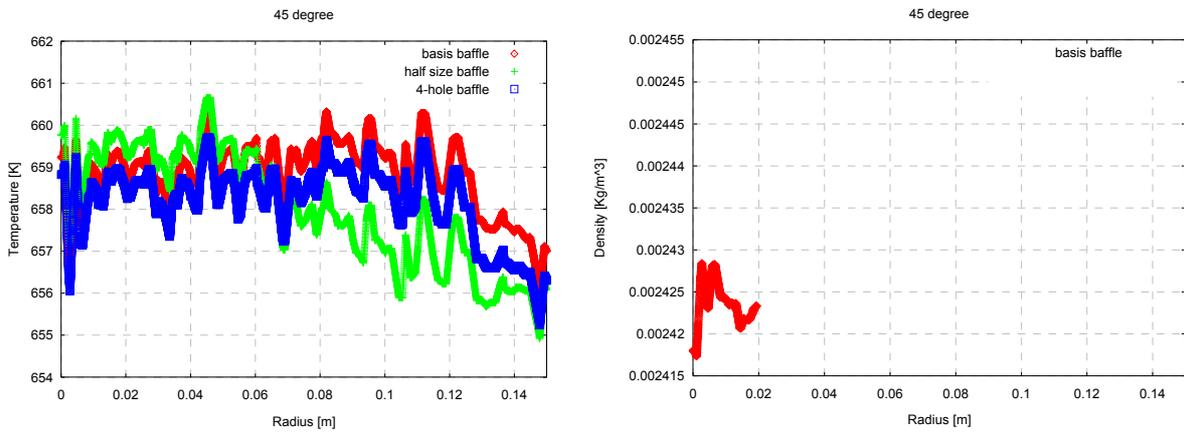


Fig. 2. Radial profiles of temperature and density near wafer ($\Theta=45^\circ$)

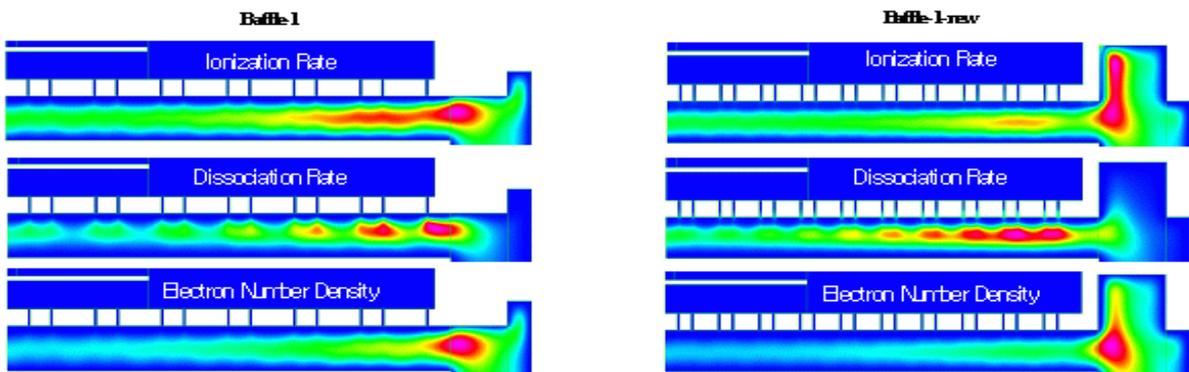


Fig. 3. Distributions of electron-impact reaction rates and electron density in PECVD chamber

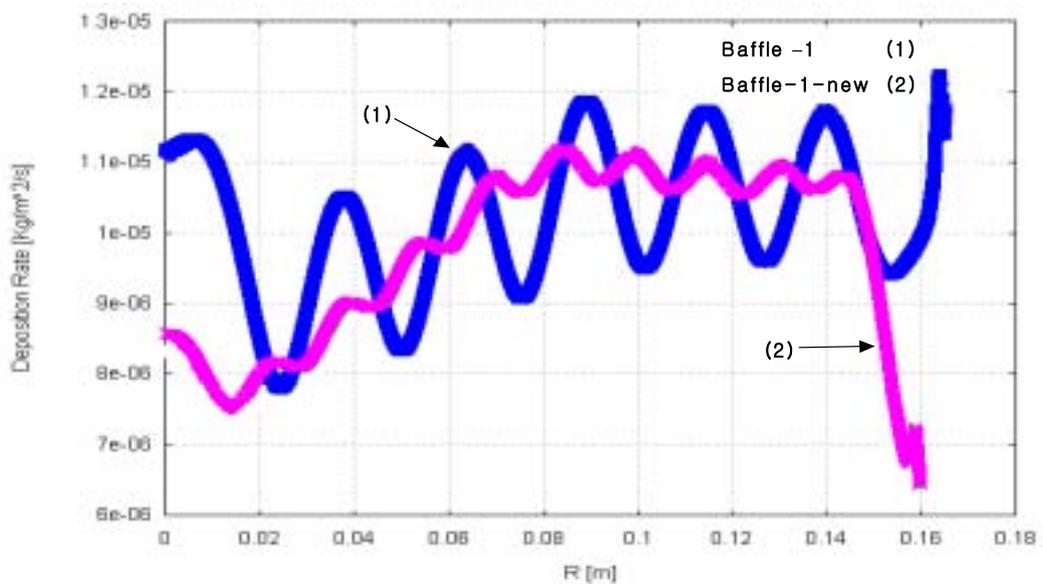


Fig. 4. Radial profile of SiO₂ deposition rate on 300 mm wafer.