

3D ICP에서 multi-segment antenna 구성에 따른 플라즈마 특성 모델링
 3D modeling of plasma characteristics for multi-segment antenna inductively coupled plasma

양원균, 김영옥, 고석일, 주정훈
 군산대학교 신소재·나노화학 공학부

초 록 : 유도결합 플라즈마(ICP)를 이용한 CVD 장치에서 플라즈마를 발생시키기 위한 안테나의 구조는 매우 중요하다. 전자 온도와 전자 밀도에 직접적인 영향을 주게 되며, 뿐만 아니라 증착 물질의 두께 균일도에 결정적인 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 플라즈마 특성 균일도 최적화를 위하여 2turn 직렬, 병렬, 혼합의 ICP 안테나의 구조에 대하여 플라즈마 특성 및 SiO₂ CVD 증착 특성을 계산하였다.

공정 압력은 SiH₄, Ar, O₂로 20mTorr를 유지했으며, 안테나에는 13.56MHz의 RF power를 인가하였다. SiO₂ 증착은 직경 200mm의 기판에 증착하였다. ICP 안테나의 구조 중 대표적으로 2 turn parallel, 1 turn serial과 2 turn reverse를 비교 분석해 보고, 증착된 SiO₂ 막의 두께 균일도를 최적화 시킬 수 있는 안테나 구조를 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

1. 서 론

유도결합 플라즈마(ICP)는 오랫동안 많은 분야에서 사용되고 있는 플라즈마 소스이다[1]. 유도결합 플라즈마를 발생시키기 위해서는 코일 형태의 안테나가 필요하게 되는데, 이 때 안테나의 배열 구조에 따라 플라즈마 특성에 많은 영향을 준다.

본 연구에서는 윗면이 석영판으로 되어 있는 원통형 반응기를 모델로 하여 석영판 위의 안테나의 구조에 따라 RF로 방전시킨 플라즈마의 특성을 분석 하였다. 또한, 플라즈마 소스 구조에 따른 SiO₂ ICP CVD의 두께 균일도 개선을 목표로 안테나의 배열 구조에 대한 효과를 전산유체역학 프로그램인 CFD-ACE를 사용하여 해석하였다.

2. 본 론

2.1 계산 방법

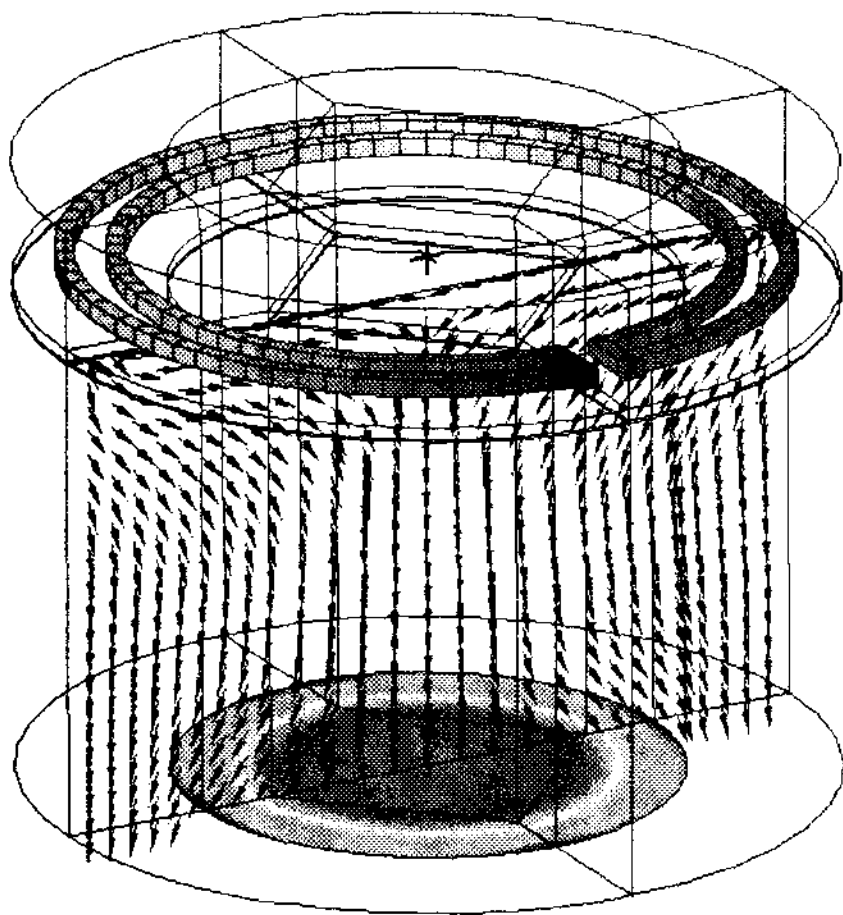


그림 1. 2turn parallel 안테나로 구성된 ICP-CVD 장치

본 연구에 사용된 가상적인 ICP-CVD 장치는 직경 320mm이고, 높이가 200mm인 원형 반응기에 5mm 두께의 석영판이 위쪽에 있으며, 석영판으로부터 5mm 떨어진 곳에 직경 5mm의 ICP 안테나를 직경 160, 200, 240, 280mm의 4 turn segment로 구성했으며 각각 임의로 조합할 수 있도록 3D로 구성하였다.

2.2 계산 결과 및 고찰

일정한 흡수 전력을 얻기 위하여 안테나 터미널 전압을 조절하였다. 본 모델에서 전력 전달은 직류전류식을 사용하여 자기장의 크기를 구하고 일정한 주파수를 지정하면

	2 turn parallel structure	2 turn serial structure
Antenna structure		
Power dissipation (W/m ³)		
Absorbed Power	550W	557W
Coil Voltage	110V	175V
Coil Current	66.3A	33.4A
T _e	2.6 eV	2.6 eV
N _e	4.6×10 ¹¹ #/cm ³	4.7×10 ¹¹ #/cm ³
T _e non-uniformity	1.2 %	1.1 %
SiO ₂ non-uniformity	2.3 %	2.3 %
Deposition rate	0.12 μm/min	0.12 μm/min

표 1. Comparison of plasma characteristics for 2turn parallel with 2turn reverse structure.

미리 계산된 자기장에 고주파를 중첩하여 다시 유도 전기장을 계산하는 방식이다(frequency domain solver). 100MHz까지는 이 방법이 유효하다고 알려져 있다.[3] 안

테나의 배열 구조에 따라 코일에 동일한 흡수 전력을 만들어내는 코일 전류값이 2turn parallel의 경우가 serial의 경우보다 2배 높다. 본 실험에 사용된 반응기 및 공정 조건

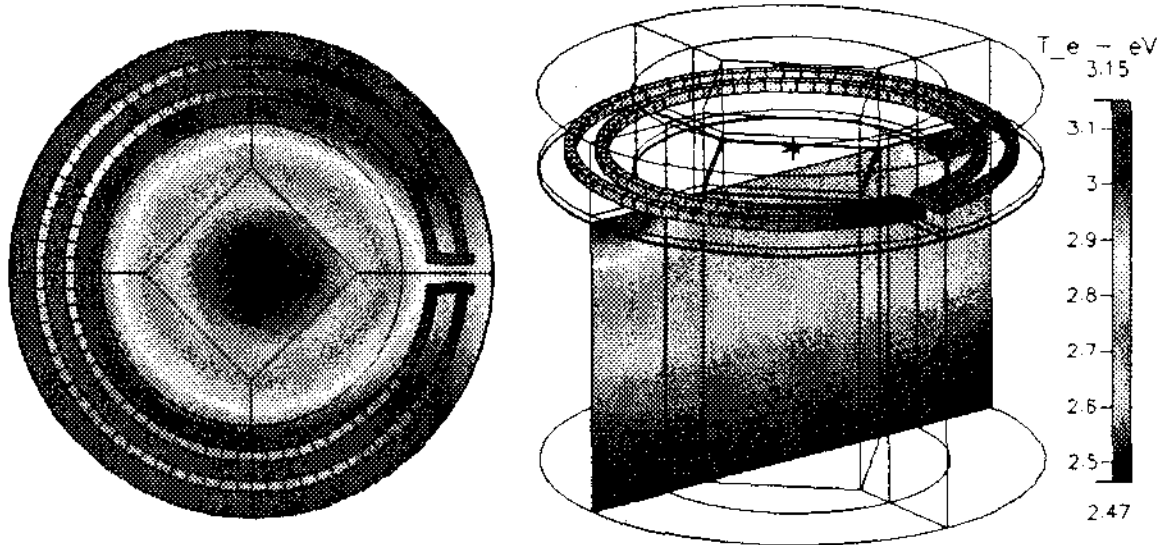


그림 2. 2turn parallel 안테나에서의 전자온도 분포

과 각각의 안테나 배열 구조에서 기판에만 증착 반응이 일어나도록 설정했을 때에는 동일한 흡수 전력에서는 거의 동일한 SiO₂의 증착 속도가 얻어졌다. 이는 550W와 557W의 거의 동일한 흡수전력에서 평균 전자 온도가 2.6eV, 2.6eV 밀도가 4.6×10¹¹ #/cm³, 4.7×10¹¹ #/cm³로 거의 같게 나왔기 때문이다. 이 때의 단위 체적당 흡수전력은 3×10⁴ W/m³ 정도이다.

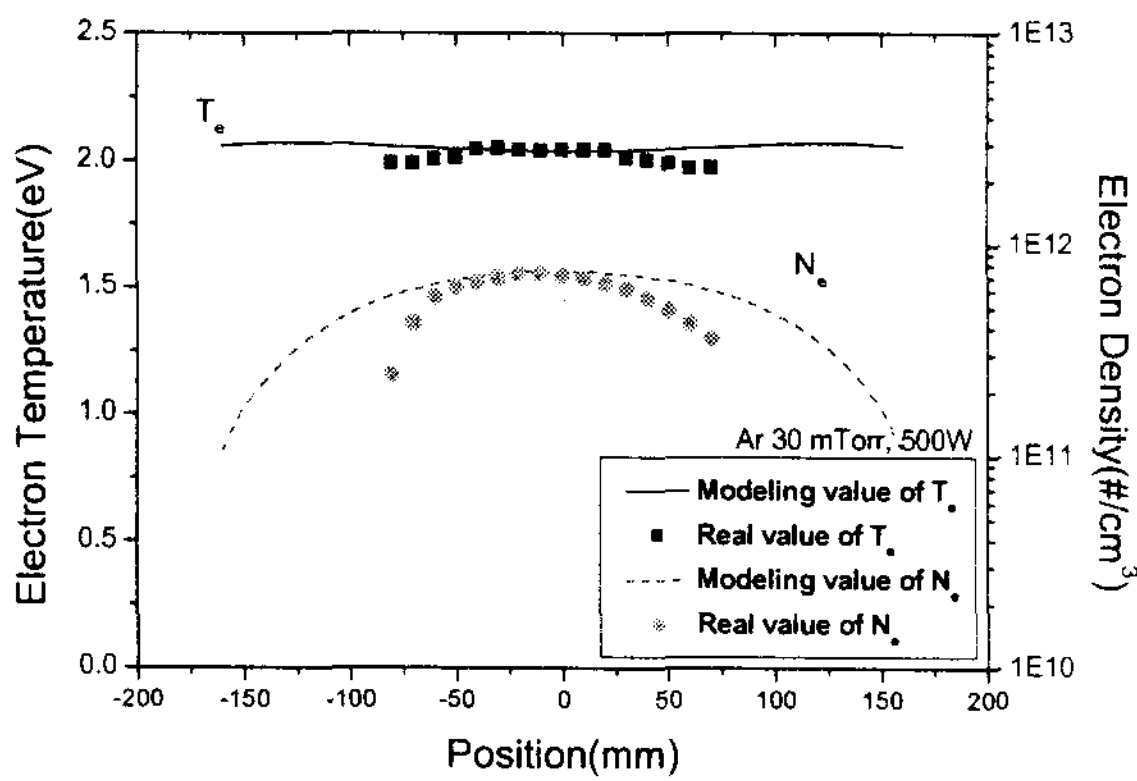


그림 3. Electron temperature and density distribution of experimental values and modeled values(2turn serial antenna, power adjusted to 259W in modeling)

그림 4의 계산결과는 반응가스를 SiH₄ : Ar : O₂ = 0.12 : 0.54 : 0.34(mass fraction)의 비율로 유전체창의 바로 아래에서 챔버 벽면을 입구로 설정하여 도입시키고, 전체 챔버의 기준압력은 20 mTorr로 하였을 때의 기판에서 계산

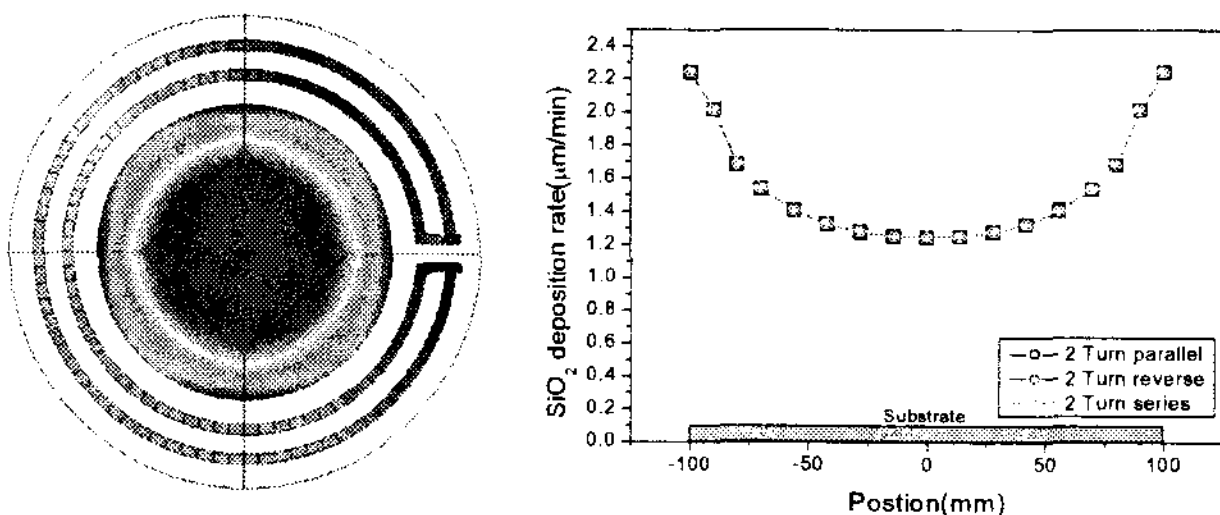


그림 4. 2 turn parallel, reverse, serial antenna system에서의 기판의 SiO₂ 증착 속도

된 증착속도이다. 이때 전자 밀도와 전자 온도는 안테나로부터 90mm 지점에서 2~3eV, 4×10¹¹ #/cm³ 이며 전자 온도

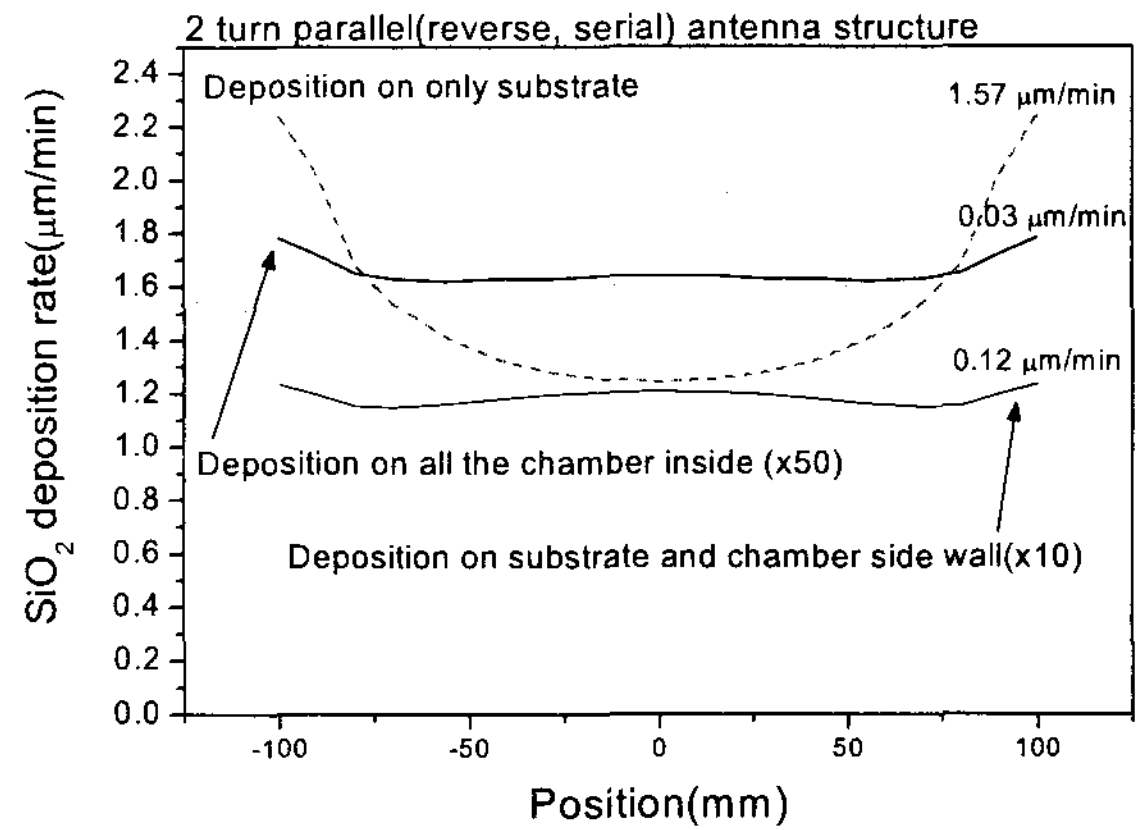


그림 5. SiO deposition on only substrate (22.1%) , all the chamber inside surfaces (3.3%) and substrate and chamber side wall (2.3%)

는 불균일도 1%로 상당히 균일한 분포를 보이고 있다. 이런 조건하에서는 소스 가스의 유동과 전자 밀도가 SiH₄의 해리 반응 불균일도 결정에 중요한 역할을 하게 된다. 본 연구에 사용한 화학 반응식에서 보면 Ar의 이온화에 의해서만 전자 밀도가 형성되므로 균일도 향상을 위한 첫 번째 조건은 Ar을 균일하게 분포시키는 것이다.

증착 반응이 일어날 수 있는 표면을 기판, 측벽, 상판으로 늘려서 정의해주면 기판의 증착 속도가 상대적으로 감소하는 대신 증착 불균일도가 2.3%로 개선된다. SiO₂의 증착이 기판으로만 한정된 경우, 증착속도가 중심부에 비하여 가장 자리가 70% 정도 높게 나온 원인은 가스 도입구의 위치가 챔버의 벽면에 있으므로 상대적으로 기판 중앙부로의 증착 물질의 공급이 모자라는 것으로 해석할 수 있다. 하지만, 증착되는 면적을 챔버 내부 전체로 확장했을 경우, 기판에서 중심부에 비해 가장 자리는 2.5% 정도 높게 증착되는 것으로 계산되었다(그림 5). 즉, 실제 챔버에서도 기판의 가장 자리에 증착이 가능한 조건의 guard ring을 설치해두면 박막 증착 물질의 희생적 소모로 인해서 기판 가장자리의 증착 속도를 조절할 수 있으며 전체적인 증착 속도 균일도가 향상된다.

3. 결 론

13.56MHz, 550W의 전력에서 2 turn parallel antenna와 serial 안테나는 유사한 평균 전자 온도와 밀도를 보였다. 안테나로부터 90mm 거리의 전자온도 불균일도는 1.2%였다.

기판에 증착된 SiO₂막의 증착 속도의 불균일도는 두가지 안테나 모두 22% 정도였고 기판 가장자리의 증착 속도가 중심부보다 높았다. 기판 가장자리 주변 챔버벽면에 증착이 되는 것을 계산에 고려하면 2.3%로 상당히 개선된 값을 얻었다. SiO₂ 증착 속도 균일도에서 각 turn 사이의 간격이 1mm로 좁은 구조의 2turn parallel과 serial type 안테나의 차이는 1% 이내로 계산되었다.

참 고 문 헌

- [1] Jungjoong Lee, Junghoon Joo, Surf. Coat. Technol. 169-170 (2003) 353-358
- [2] M. Liberman, A. J. Lichtenberg, Principle of plasma discharges and materials processing, John Wiley & Sons. INC, New York, 1994, Ch. 12, pp387-403
- [3] CFD research, CFD-ACE modules V2007, Vol.2, pp117 - 141