

## Gas 주입구 위치 변화에 따른 ICP-CVD SiO<sub>2</sub>의 두께 균일도 개선 모델링 Numerical modeling for thickness uniformity improvement of ICP-CVD SiO<sub>2</sub> by optimization of gas inlet position

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

**초 록 :** SiH<sub>4</sub>-Ar-O<sub>2</sub> ICP-CVD에서 증착된 SiO<sub>2</sub>막의 두께 균일도를 개선시키기 위해 반응가스 주입구의 위치가 두께 균일도에 영향을 주었을 것으로 예상하고, CFD-ACE를 이용하여 2차원 모델링을 하여 최적데이터를 도출하였다.

### 1. 서 론

고밀도 유도 결합 플라즈마를 사용하면 높은 전자밀도를 (10<sup>11</sup>~10<sup>12</sup>#/cm<sup>3</sup>) 이용하여 원료가스의 해리도를 높일 수 있다. 그러나, 유도결합 플라즈마 발생용 안테나의 형상과 가스 유동의 불균일성에 의해서 증착층의 두께 불균일이 발생하기 쉽다. 높은 해리율을 갖는 고밀도 플라즈마 장비인 SiH<sub>4</sub>-Ar-O<sub>2</sub> ICP-CVD에서 증착된 SiO<sub>2</sub>막의 두께 균일도를 개선하기 위해 반응가스 주입구의 위치의 영향을 CFD-ACE를 이용하여 2차원 모델링 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 실험방법

본 연구에 이용한 모델은 원통형 챔버로 직경 300mm, 높이 180mm, 안테나 직경 330mm의 ICP-CVD장비이다. SiO<sub>2</sub> 증착속도 균일도 확보를 위하여 가스 inlet의 위치를 챔버 중심축으로부터 2cm간격으로 10cm까지 모사하였다. 플라즈마 발생은 13.56MHz가 인가된 3turn 안테나(직경 330mm)를 사용하였으며, 안테나 전류가 15A일때 흡수전력 255W정도였다. 가스도입은 상판의 링타입 가스 도입부를 통하여 이루어졌고 배기는 기관주변 폭 35mm, 넓이 291.4cm<sup>2</sup>의 pumping manifold로 모델링 하였으며, 온도는 300K 실온을 가정하였다. ICP를 사용한 CVD의 경우, 높은 플라즈마 밀도와 해리에 적당한 전자온도에 의해서 상온에서도 좋은 성질의 박막을 얻은 문헌 보고가 있다[1]. 계산에 사용된 화학반응은 이온화(SiH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup>)반응과 표면반응(SiH<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> → SiO<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub> 등)으로 이루어져 있다[2],[3]. 전체 공정압력은 1.33Pa로 고정하고 SiH<sub>4</sub> : Ar : O<sub>2</sub>의 비율도 0.12 : 0.54 : 0.34로 고정한 다음 상부 가스주입구의 위치를 20mm간격으로 기관과 챔버 중심사이의 값으로 변화시키면서 기관에 증착된 SiO<sub>2</sub>의 두께 균일도의 변화를 계산하였다.

본 모델에서 sheath는 고려하지 않았으며 ICP는 코일 전류를 입력하면 이에 의한 유도 전기장을 계산하고 이에 의한 전자의 에너지 평형식과 유사중성조건식(quasi-neutrality equation)을 이용하여 전자 밀도의 분포를 계산하였다. 플라즈마의 전기전도도는  $\sigma = \frac{\epsilon_0 \cdot \omega_p^2}{\nu + j\omega}$ 로 표시되며 유도 전기장에 의한 Joule heating은  $\frac{1}{2}Re(\sigma)|E_r|^2$ 이며 유도 전기장은 magnetic module에 의해서 계산된다.

#### 2.2 모델링 결과와 고찰

그림1에 보인 것과 같이 수직입사가스 주입구의 위치를

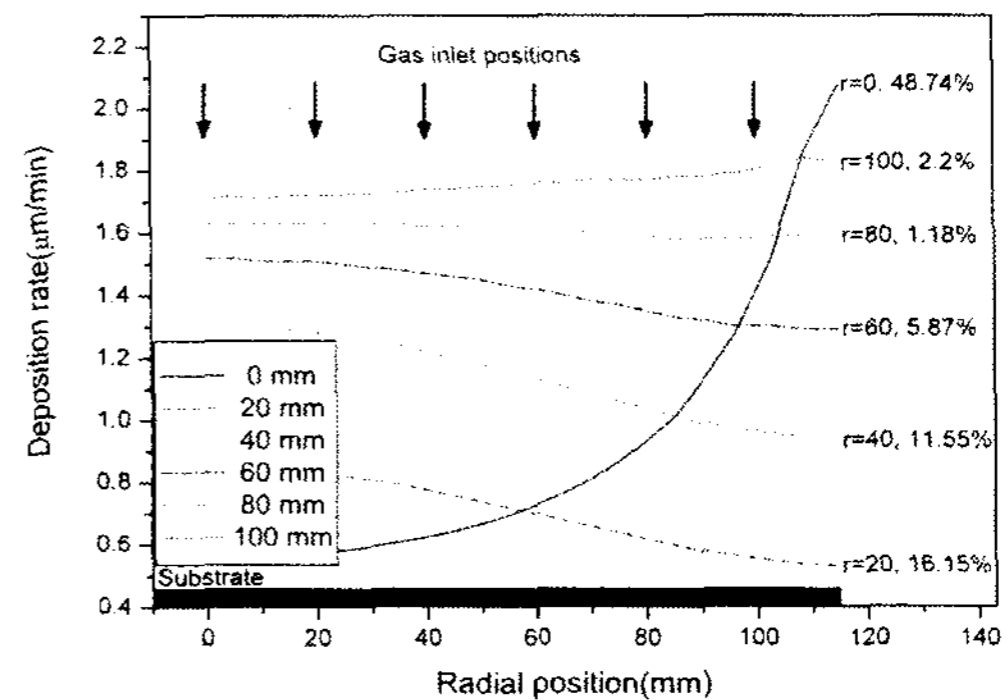


그림 1 Vertical inlet의 위치에 따른 증착속도(μm/min)

변화시킨 결과, 가스 도입구가 정중앙에 있을 때 48.74%의 불균일도를 보였고, r=80mm(substrate 가장자리에서 20mm 안쪽)에서 1.18%의 최적의 두께 불균일도를 얻었다. 가스 도입구를 측벽으로 바꾸어 계산한 결과 균일도의 최적 위치는 상부에서 50mm 지점으로 불균일도 1.6%를 얻을 수 있었다.

그림2와 3은 vertical inlet과 side inlet의 RF power를 320W로 고정하였으며, 그에 따른 T<sub>e</sub>, N<sub>e</sub>를 살펴본 결과이다.

Side inlet의 경우가 vertical inlet의 경우에 비해서 동일한 전력, 가스압력, 기관과 가스 도입구의 위치 조건하에서 1.7배 높은 증착속도를 갖는 이유는 flow영향 때문으로 해

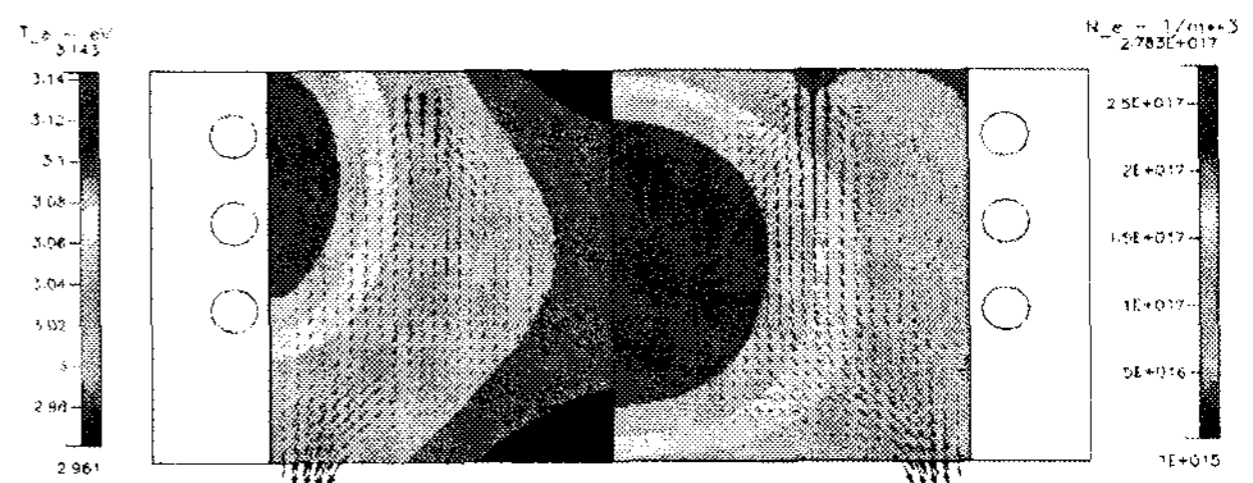


그림 2 Vertical inlet위치 r=80에서의 T<sub>e</sub>와 N<sub>e</sub>

석된다. 즉, 2D model에서 inlet 조건을 일정한 입사속도로 주었으므로 side inlet의 경우 가스주입구의 총면적이  $2\pi R \cdot \Delta Z$ (주입구의 z방향 폭)로 계산되므로 총입력 유량이 많은 것으로 계산이 되는 것과 평균잔류시간(mean residence time)이 수직입사의 경우에 비해서 길어서 증착속도를 증가시키는 SiH<sub>4</sub>의 플라즈마에 의한 전자충돌 해리반응이 일어날 확률의 증가 때문일 것으로 생각된다.

표1에 본 모델링에 사용한 화학반응식을 열거하였는데, 계산시간 단축을 위하여 증착반응에 큰 영향이 없는

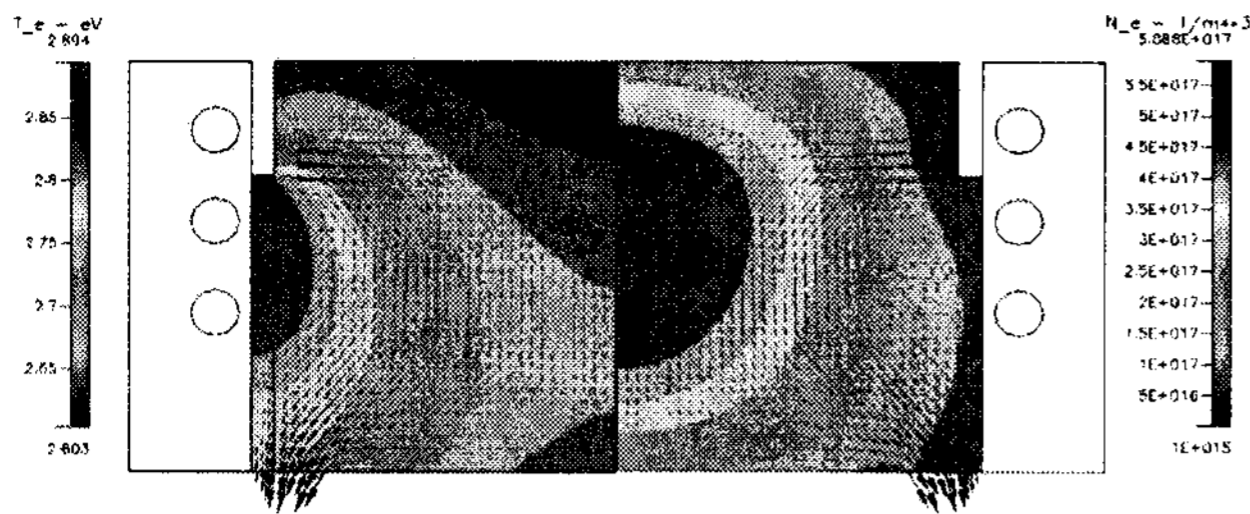


그림 3 Side inlet의 경우  $T_e$ 와  $N_e$  계산값

momentum transfer, electronic excitation, radiation 등의 반응은 가스 주입구 위치 최적화를 목표로 하는 본 모델링에서는 생략하였다. 두 가지 고려한 공간반응은 Ar의 이온

공간 반응	$e+Ar \rightarrow Ar^+ + e + e$ $A_p=1.2 \times 10^{-13}$ $n=0$ $E_a/R=18.7$ (이온화)
	$e+SiH_4 \rightarrow SiH_2 + H_2 + e$ $A_p=1.6 \times 10^{-14}$ $n=-1$ $E_a/R=10.64$ (해리)
표면 반응	$Ar^+ \rightarrow Ar$ $A=1$ $E_a/R=0$ $n=0$ (중성화)
	$SiH_4 + O_2 \rightarrow 2H_2 + SiO_2$ $A=0.3$ $E_a/R=0$ $n=0$ (증착)
	$SiH_2 + O_2 \rightarrow H_2 + SiO_2$ $A=1$ $E_a/R=0$ $n=0$ (증착)
	$SiH_2 + OPEN \rightarrow SiH_2 S^*$ $A=10^7$ $E_a/R=1000$ $n=0$ (흡착)
	$SiH_2 S^* \rightarrow SiH_2 + OPEN$ $A=10^{13}$ $E_a/R=15000$ $n=0$ (탈착)
	$SiH_2 S^* + O_2 \rightarrow SiO_2 + H_2 + OPEN$ $A=10^8$ $E_a/R=10000$ $n=0$ (증착)

표 1 모델링에 이용한 화학반응식

$$(k = A_p (T/T_0)^n (P/P_0)^m \exp(-E_a/RT)), *는 표면흡착종$$

화과precursor gas인  $SiH_4$ 의 전자 충돌 해리반응이고, 표면 반응은 Ar 이온의 표면 충돌 중성화 반응과 3가지의 증착 반응, 그리고 중간생성물인  $SiH_2$ 의 표면흡착종의 탈착 반응이다. 반응의 종류는 표면흡착반응계수 타입(sticking coefficient type)과 유한반응속도타입(finite reaction rate type)으로 구분하여 고려되었다.

보다 정확한 계산을 위하여는 위에서 언급한 Ar의 기타 전자 충돌 반응들과 함께  $O_2$ 의 반응들 (해리, 양이온화, 음이온화)과 함께  $SiH_4$  및 그 유도체들의 O, Ar (metastable) 과의 반응이 고려되어야 할 것이다. 일반적으로 이들은 분자나 기저상태의 입자들보다 반응성이 높다고 알려져 있다 [4]. 모델링에 이들의 효과를 고려하려면 이들 입자간의 충돌 반응식에 대한 반응상수를 정확히 구하는 작업이 필요하며 이는 추후의 연구를 통해서 고려할 계획이다.

표 1의 반응식을 이용한 모델링 결과는 13.56MHz, 3 turn antenna에 의한 동일한 흡수전력을 얻기 위한 코일 전류가 side inlet의 경우, 20.1A로 vertical inlet보다 더 높은 값을 보이는 이유는 가스 입구에서 펌핑 manifold에 이르는 경로 차이로 인해서 부분적 압력상승이 있고 이로 인한 전자밀도의 증가로 부하저항이 낮아졌기 때문으로 생각한다. 이 현상은 챔버의 종횡비(높이/직경)가 낮아질수록 두드러질 것이다.

가스도입구의 방향에 따른 전자온도, 밀도의 2차원 분포를 살펴보면 수직방향 입사의 경우 높은 전자온도를 갖는

	Side inlet	Vertical inlet
Deposition rate ( $\mu m/min$ )	2.75	1.55
Coil Current	20.1A	16.21A
Average $T_e$	2.7eV	3.1eV
Average $N_e$ ( $\#/cm^3$ )	$3.1 \times 10^{11}$	$1.9 \times 10^{11}$
Deposition rate non-uniformity	1.38%	4.30%

표 2 13.56MHz, 320W에서 side inlet과 top inlet시의 플라즈마 특성 비교표

영역이 상부 쪽으로 치우쳐 있으나, 횡방향 입사의 경우는 챔버의 Z방향 중심을 기준으로 상·하 대칭을 이루고 있다. 이 사실은  $SiO_2$  증착 속도의 불균일도가 직접 연관된다고 생각한다.

$SiO_2$  증착속도 균일도를 위하여 최적화된 가스도입구의 위치는 상부에서 50mm 지점이며, 이때의 증착속도는 2.75  $\mu m/min$ 이고 불균일도는 1.38%로 계산되었다.

### 3. 결 론

$SiO_2$  ICP-CVD의 두께균일도 향상을 위한 가스 도입구 위치 모델링 결과, 상판의 inlet 위치를 챔버 중심축으로부터 횡방향 가스도입의 경우, 상부에서의 수직입사에 비해 약 2배 정도의 높은 증착 속도를 보였다. 상부 가스 주입구의 위치를 80mm로 했을 때, 불균일도를 1.18%로 낮추는 최적의 조건을 찾을 수 있었다. 하지만 동일한 두께균일도에서 power 효율과 증착속도는 횡방향 가스도입의 경우가 좋았다.

### 참 고 문 헌

- [1] Dong-Kak Lee, Jung-joong Lee, Junghoon Joo, Surf. Coat. Technol 171 (2003) 24-28
- [2] A. Yanguas-Gil, J. Cotrino, F. Yubero, A.R, Gonzalez-Elipse, Surf. Coat. Technol 200 (2005) 881-885.
- [3] Young-Bae Park, Shi-Woo Rhee, Surf. Coat. Technol 179 (2004) 229-236.
- [4] M. Liberman, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley & Sons, New York, 1994, Ch. 8