

대면적 스퍼터링 장치에서 Gas 분배 구조 변화에 따른 압력 균일도 개선 모델링
 Numerical modeling for pressure uniformity improvement of a large area sputtering system by change of gas distribution configuration

김영욱, 양원균, 주정훈
 군산대학교 신소재·나노화학 공학부

초 록 : 대면적 플라즈마 스퍼터링 시스템에서 가스 분배 구조의 변화가 전체적인 시스템의 압력 균일도에 미치는 영향을 3차원 수치 모델을 통하여 연구하였으며 2 line parallel internal antenna의 경우에 대해서 플라즈마 균일도를 drift diffusion approximation을 이용하여 계산 하였다.

흡수 밀도 영역에서는 높은 불균일도를 보이고 있는데 이는

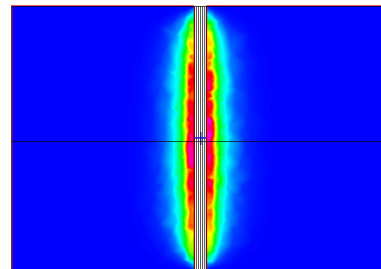


그림 1 사면체 격자를 사용했을 때의 전력 흡수 밀도의 불균일 발생

1. 서 론

고밀도 유도 결합 플라즈마를 사용하면 높은 전자밀도를 ($10^{11} \sim 10^{12} \text{ #/cm}^3$) 이용하여 스퍼터링된 입자들의 이온화를 유도할 수 있고, 기판 온도를 올리지 않고도 표면 반응의 활성화를 기대할 수 있다. 또한 반응성 증착의 경우 원료가스의 해리도를 높일 수 있다. 그러나, 유도결합 플라즈마 발생용 안테나의 형상과 가스 유동의 불균일성에 의해서 증착층의 성질 불균일이 발생하기 쉽다. 공정 압력에서의 평균 자유행로(수 mm)에 비하여 1000배 정도 큰 대면적 스퍼터링 시스템의 공정 균일도를 개선하기 위해 반응가스 주입구의 배열 구조의 영향을 CFD-ACE를 이용하여 3차원 모델링 하였다.

내부 삼입형 유도 결합 플라즈마를 수치 모델화 하는 데에는 반드시 전력 흡수가 높을 것으로 예상되는 지역은 반드시 그림 2와 같은 직육면체 정렬 격자를 사용해야 한다. 원형 챔버의 경우에는 안테나를 제외한 부분은 모두 정렬 격자를 사용하여 처리하고 형상이 복잡해지는 안테나 영역만

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에 이용한 모델은 직사각형 챔버로 폭 1800mm, 높이 800mm, 두께 250mm 이고 스테인레스강으로 만들어졌다. 내장된 유전체 포함형 안테나의 형상은 두 개의 평행한 세그먼트로 구성되어 있고, 가스의 분배는 1/4인치 SUS tube를 이용하여 음극의 둘레로 배치되어 있는 직경 0.5mm의 hole을 통해서 이루어진다. 수치 모델에서는 이를 단순화하여 사각형으로 나타내었다.

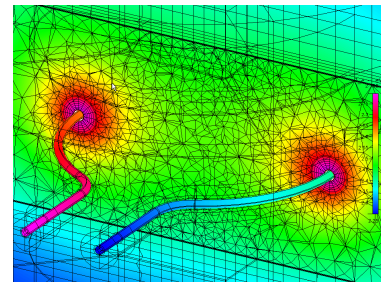


그림 2 전력 흡수 영역을 정렬 격자로 따로 처리한 경우의 계산 결과

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 $\frac{1}{2} Re(\sigma) |E_{rf}|^2$ 이며 유도 전기장은 magnetic module에 의해서 계산된다[1]. 도체인 코일과 절연체인 shield를 고려하고 계산의 정확성을 유지하기 위하여 그림과 같이 구조 격자를 이용하여 전력 흡수 밀도가 높은 곳의 수치적 엄밀성을 보다 쉽게 구현할 수 있도록 하였다.

을 사면체 격자를 사용하여 처리하는데 실제 해를 구하는 과정에서 사면체 격자의 정규성이 떨어지는 영역의 문제로 발생하는 경우가 종종 발생한다. Single CPU machine에서 플라즈마 모델을 사용하는 경우 500,000 cell 정도가 10 - 60 시간 이내에 계산이 가능했는데(steady state solution, drift diffusion approximation) 전기적 포텐셜의 해가 가장 민감하게 반응하였다.

2.2 모델링 결과와 고찰

그림1에 보인 것과 같이 3차원 모델에서 일반적인 사면체 격자를 조밀하게 사용한 경우에도 10^6 W/m^3 의 높은 전력

그림 3은 평행한 두 개의 내부 삼입형 안테나를 갖는 3차원 시스템에 대한 전자 온도 계산 결과의 예이다. 전체 투입 전력이 적으므로 전자 온도의 피크치는 1.8eV 정도이고, 전자 밀도는 $1.5 \times 10^{16} \text{ #/m}^3$ 정도이다. 실제 1800mm 폭의 시스템에서 가스를 타겟 주변으로 나오도록 주었을 때의 유동을 Z단면으로 관찰하면 그림 4와 같다. 중앙부의 빈 곳이 기판을

Te : 2MHz Ar10mTorr Vrf 200V series

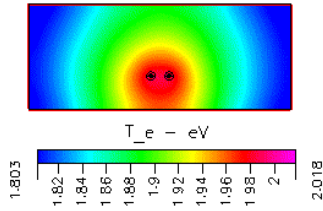


그림 3 두 개의 평행한 내부 삼입형 안테나에 의한 방전 영역 형성 예(전자 온도 계산)

장착한 캐리어를 표시한 것이며 실제로 가스 유동의 특성에 영향을 많이 미치고 있다. 이 계산 모델에서 펌프의 위치는 우측 상부로 치우쳐 있는데 이는 현재 실험과 비교하는 시스템의 구조상 그렇게 되어 있으므로 이를 단순 모사하였기

V : InLine ICP ch01a two line 20mTorr

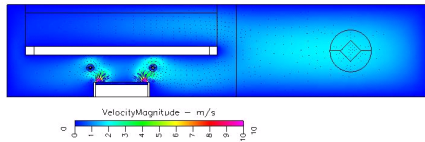


그림 4 타겟 주변으로 가스를 주입할 경우의 시스템 내부의 유동장 변화

때문이다. 정확히 대칭이 되도록 양쪽에 펌프를 가설하면 이 문제는 해결될 것으로 생각한다. 다만, 실제 고밀도 플라즈마가 발생되는 영역의 반응성 가스 분포를 좌우하는 기관의 표면적이 주변의 챔버벽 면적에 비해서 적지 않다는 점이 실제 식각, PECVD 등의 공정을 수치 모델 진행할 때의 예상되는 결과가 실험치와 큰 편차를 가질 수 있는 개연성을 제공한다. 이와 같은 강한 표면 반응 계산 모델의 정확

Te: InLine ICP ch01a two lines rev2 2MHz Ar10mTorr Vrf 200V series GND substrate

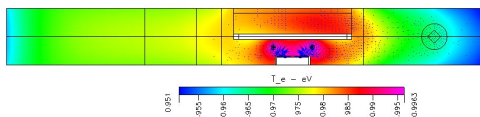


그림 5 두 개의 평행한 내부 삼입형 안테나를 이용하여 발생시킨 플라즈마의 전자 온도 분포

성을 위해서는 정확한 표면 재결합, 식각, 증착 모델에 대한 개발이 필수적이다.

그림 5에는 이와 같은 전략으로 계산한 3차원 플라즈마의 전자 온도 분포를 나타내었는데, 특징적인 것은 기관 홀더의 뒷부분 플라즈마 균일도가 앞부분과 상당히 다른 것이다. 이는 실제의 실험에서도 유사한 결과를 관찰 할 수 있었는데 계산 결과를 토대로 보면 가스 유동의 불균일이 가져온 결과라고 해석할 수 있다.

보다 최적화된 가스 도입 구조의 형상은 일정한 단면적을 가진 tube에서 가스 배출 hole의 형상과 방향, hole 사이의 간격 조절 등이며 보다 연산 성능이 뛰어난 cluster system을 이용하여 이 문제를 자동 최적화 알고리즘으로 해결해야 할 것으로 생각하고 있다.

3. 결 론

대면적 식각 및 증착 등의 플라즈마 공정 시스템 설계 능

력 배양과 개선을 위한 3차원 수치 모델을 개발 하였다. 내부 삼입형 안테나에 의한 정확한 모델링을 위하여 혼합 영역 구조를 이용하였으며 이를 1800mm × 850mm × 250mm의 시스템에 적용하여 가스 유동 불균일과 플라즈마 생성 불균일 현상의 관계를 밝혔다.

감 사 의 글

이 연구는 2007년도 산업자원부의 산업기술개발사업(핵심기반기술 개발사업 內 시스템집적반도체기반기술개발사업)으로 수행된 것임을 밝히 드립니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] M. Liberman, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley & Sons, New York, 1994, Ch. 8