

입자 모델을 이용한 평판 마그네트론 스퍼터링 음극의 전자 운동 분석 Electron trajectories analysis in a planar magnetron sputtering cathode by a particle model

주정훈

군산대학교 공과대학 신소재공학과, 플라즈마 소재응용 센터

초 록: 3차원 입자 모델을 이용하여 125 mm×625 mm 크기의 평판형 마그네트론 스퍼터링용 음극에서 전자의 운동을 해석하였다. 전자와 중성 가스 입자의 충돌은 모두 세 가지를 고려하였으며 Runge-Kutta 4th order 방법을 이용하여 전자의 궤적을 계산하였다. 400 eV의 전자는 5 mTorr의 압력에서 알곤과 평균 8 - 12회 이온화 충돌 후 집중 방전 영역에서 벗어났으며 문헌에 보고된 2차원 실린더형 마그네트론에서 보고된 값보다 작았다. 마그네트론의 집중 방전 특성은 전자와 중성의 소각 산란에 의해서 주로 발생되었으며 이온화 충돌에 의해서 발생하는 2차 전자는 충돌 위치에서의 자기장 값에 의해서 궤적이 결정되었다.

1. 서론

대형 스퍼터링 장비의 경우 고가의 타겟이 운용비용의 대부분을 차지하게 된다. 타겟의 사용 효율을 증대시키기 위해서 자기장의 형상을 최적화 하는 노력의 일환으로 3차원 플라즈마 모델링이 필요하다. 이를 위해서는 자기장과 전기장의 계산이 필요하며 1차적으로 전기장은 얇은 쉬스를 가정하고 고정된 Z축 방향의 전기장만을 고려하였다.¹⁾ 이 계산을 통하여 이온화 충돌의 위치에 따른 밀도 분포를 구하고 이를 바탕으로 타겟의 침식 깊이 분포를 예측하는 것을 목표로 하였다.

2. 본론

모델링을 위한 자기장의 구조는 그림 1에 나타나 있다. 여기에서 전자와 중성의 충돌에 사용한 식은 아래에 나타내었다. 각각의 충돌 단면적은 Nahar 등의 데이터를 사용하였다.²⁾ 실제 마그네트론에서 전자들이 유효 충돌 횟수를 늘릴 수 있는 것은 소각 산란 때문이라는 것이 모델링을 통해서 나타났으며 자기장의 구배가 급한 경우가 훨씬 더 빨리 전자를 유효 이온화 충돌 영역에서 빠져 나가도록 한다는 사실을 알게 되었다. 일단 수평 방향 자기장이 약한 곳으로 빠져 나간 전자는 충돌에 의해서만 강한 자기장 영역으로 들어올 수 있는데 전체 산란각에서 타겟 방향의 산란각이 차지하는 영역이 작으므로 확률이 낮다. 즉, 대각 산란으로 집중 이온화 영역을 벗어난 전자는 이온화 충돌에 재사용되기 어렵고 기판이나 타겟 주변으로 빠져 나갈 확률이 높다는 것을 의미한다. 특히 타겟의 가장 자리에서는 그림 2와 같이 다른 곡률의 비행 궤적을 갖는 것으로 나타났다가 때의 드리프트 운동의 결과가 타겟 가장 자리 바로 옆의 직선 구간의 이온화 충돌의 밀도를 증가시키고 결과적인 타겟의 비정상적인 침식을 가져오는 것으로 알려져 있다. 추후의 연구에서는 여러 가지 자석 배열 조건과 스퍼터링 전원의 종류에 따른 전자 거동을 해석하여 가장 균일한 타겟 침식 조건을 갖는 자석 배열 및 전원의 종류를 판단하는 자료로 만들 예정이다.

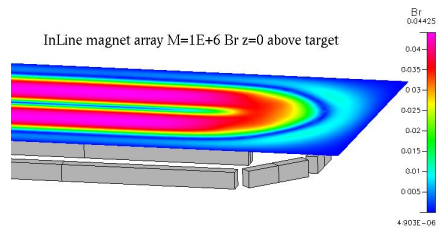


Figure 1 Magnet configuration and calculated magnetic fields

$$\lambda = \frac{1}{n \cdot \sigma} = \frac{1}{n \cdot (\sigma_{elast} + \sigma_{exc} + \sigma_{ion})}$$

λ = mean free path (m)

n = particle density (#/m³)

σ = collision cross section (m²)

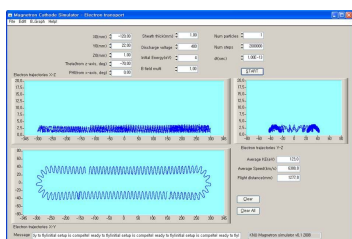


Figure 2 Electron trajectories

3. 결론

전자와 중성의 탄성 준안정 여기, 이온화를 고려한 3차원 입자 모델을 만들고 이를 적용하여 평판형 마그네트론 음극에서 전자의 거동을 해석하였다. 마그네트론의 높은 이온화 효율은 전자와 중성의 소각 산란에 의해서 유지되는 것으로 나타났으며 충돌에 의해서 낮은 자기장 영역으로 산란된 전자들은 대개 다시 고자장 영역으로 돌아오지 못하고 타겟 주변이나 기판 주변으로 빠져 나가는 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 산업자원부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] T.E. Sheridan, M.J. Goekner, and J. Goree, J. Vac. Sci. Technol A8 (1990) 30
- [2] S. N. Nahar and J. M. Wadehra, Phy. Rev A 35 (1987) 2051