

**보조 전자기 코일이 마그네트론 방전특성에 미치는 영향**  
**Effect of additional electromagnetic coil current on the discharge characteristics of magnetron sputtering**

변응선<sup>1\*</sup>, 이건환<sup>1</sup>, Dimitr Golosoy<sup>2</sup>, Igor Syadkoyski<sup>2</sup>, 전상조<sup>3</sup>, 김영신<sup>4</sup>

- (1) 한국기계연구원 재료연구소, 표면기술연구부
- (2) Belarussian State University of Information and Radioelectronics
- (3) 국방기술품질원
- (4) 대기하이텍

**초 록 :** 본 연구에서는 스퍼터된 원자의 이온화율을 높여 스퍼터링 효율 및 증착된 박막의 특성을 향상시킬 목적으로, 스퍼터 타겟과 기판사이에 보조 전자기코일을 부가하였다. 실험결과, 보조 전자기 코일을 통해 전자장 분포를 제어함으로 인해 스퍼터링 효율 및 박막의 증착 균일도를 동시에 향상시킬 수 있었으며, 나아가 입사이온의 증가로 인해 증착된 박막의 특성도 향상됨을 예상할 수 있었다.

**1. 서 론**

스퍼터링 기술의 공업적 응용이 시작된 이래 플라즈마 밀도를 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어졌으며, 대표적으로 결실을 거둔 것이 마그네트론 스퍼터링 기술이다. 이 방법은 영구자석이 전기장과 결합한 전자장을 발생시키고 일정한 방향으로 전자를 이동시켜 플라즈마 (이온 및 전자) 밀도를 증가시키는 것에 있다.

하지만 반도체 및 디스플레이 기술의 비약적 성장에 따라 보다 우수한 기능 및 효율의 증착특성이 요구되어 지고 있다. 마그네트론 스퍼터링 공정에서의 증착속도는 타겟의 스퍼터링 속도와 직결되며, 스퍼터링 속도와 박막의 특성은 플라즈마의 밀도, 즉 이온화율에 가장 큰 영향을 받는다.

본 연구에서는 스퍼터 타겟과 기판사이의 전자장 분포를 제어하여, 스퍼터링 효율 및 증착된 박막의 특성을 향상시킬 목적으로, 보조 전자기코일을 부가하고 코일에 인가되는 전류가 마그네트론 방전특성에 미치는 영향을 조사하였다.

**2. 실험장치 및 방법**

본 연구에서 사용한 실험 장치는 그림 1과 같이 보조 전자기 코일을 스퍼터 타겟과 기판사이에 설치하여 타겟과 기판사이의 전자장 분포를 조절할 수 있도록 구성하였다.

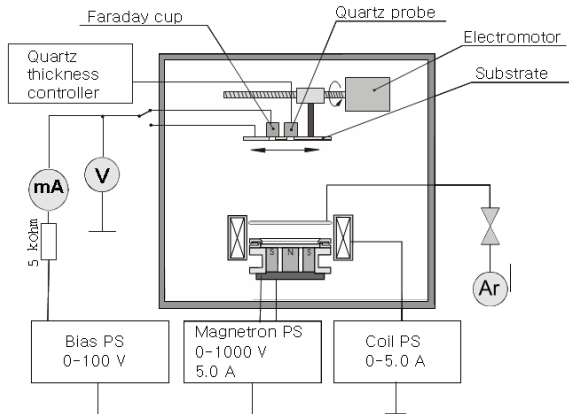


그림 1. 실험에 사용된 장치의 모식도.

타겟은 직경 80mm의 99.995% Ti을 사용하였으며, 기판으로 입사하는 이온 전류밀도를 in-situ 측정하기 위하여 Farada cup을 기판에 설치하였다.

스퍼터 타겟 상부에 위치한 보조 전자기 코일은 내경 140mm, 외경 168mm, 높이 45 mm의 도넛 형으로서, 코일 전류밀도는  $2 \times 10^6$  A/m<sup>2</sup>가 되도록 구성하였다. 이 코일에 인가하는 전류 (I<sub>c</sub>)를 변화시킴에 따라 타겟과 기판사이의 자장분포가 변하게 되고 이로 인해 자기장의 비평형도가 달라지게 된다.

**3. 결과 및 고찰**

그림 2는 Quick field로 계산한 타겟과 기판사이의 자장 분포이다. 보조 전자기 코일에 2.0A의 전류를 인가하였을 경우 자기장은 타겟 표면과 직상부 뿐만 아니라 타겟방향으로 강력하게 향하도록 분포하고 있어, 기판으로 입사하는 코팅물질의 이온화율을 크게 향상시킬 것으로 예측된다.

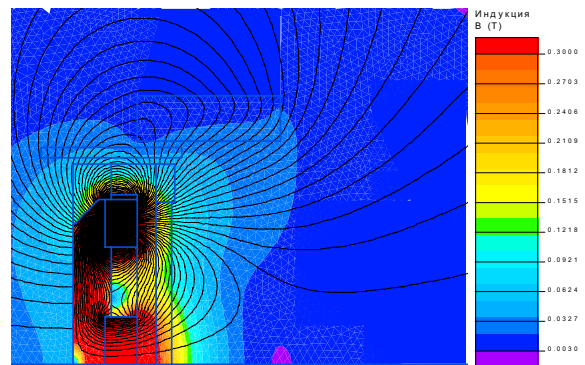


그림 2. 보조 전자기코일 전류 2.0A일때의 자장분포.

보조 전자기 코일 전류 (I<sub>c</sub>)가 기판에 입사하는 이온 전류 밀도에 미치는 영향을 조사한 결과를 그림 3에 나타내었다. Farada cup은 타겟으로부터 55mm 거리에 위치하였고 -100V의 바이어스를 인가한 상태에서 타겟의 반경방향으로 이동하며 측정하였다.

코일 전류가 음(-)일 경우 입사하는 이온전류밀도 증가는 관찰되지 않았으나, +1A이상의 전류를 인가하게 되면 직선적으로 증가하였다. 하지만 3A 이상에서는 이온의 전류밀도는 포화되는 경향을 보였다. 이 포화경향은 높은 코일전류와 방전전압에서 두드러지게 나타났는데, 이는 타겟과 기판사이의 공간에 존재하는 전하입자의 부족에 기인하는 것이다. 본 실험에서의 최대 이온 전류밀도는 1.7 mA/cm<sup>2</sup>였다.

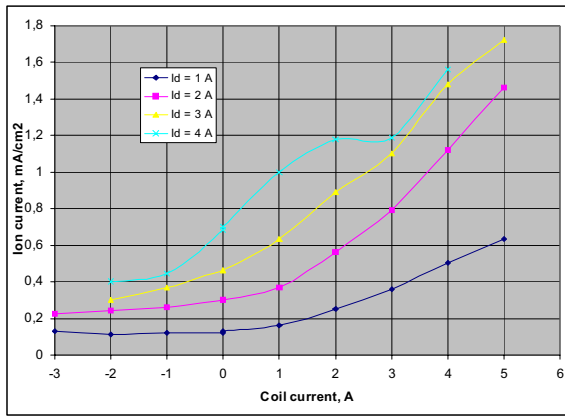


그림 3. 보조 전자기 코일전류가 마그네트론 방전 특성에 미치는 영향.

그림 4는 인가한 보조 전자기 코일 전류에 따른 이온 전류밀도 분포를 나타낸 것이다. 그림으로 부터 최대 전류밀도는 마그네트론 방전 영역 상부이며, 코일 전류가 증가함에 따라 입사이온의 흐름은 마그네트론 축 ( $R=0\text{mm}$ )으로 집중됨을 알 수 있다. 여기에서 주목해야 할 것은  $I_c$ 를 증가시키기에 따라 기관으로 입사하는 이온의 양은 크게 증가하나 증착 균일도는 오히려 감소하므로, 그림 5에 나타난 바와 같이 타깃-기관간 거리 ( $L$ )를 변화시켜 증착 균일도를 평가하였다.

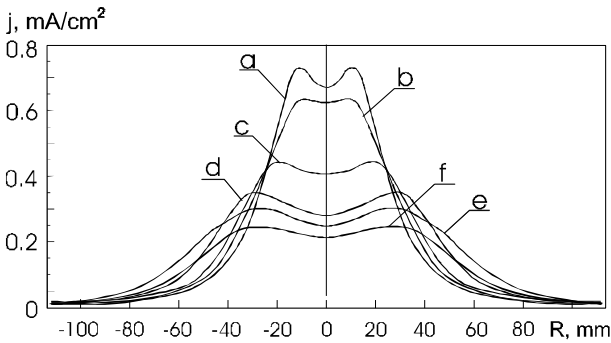


그림 4. 보조 전자기 코일 전류가 이온전류 분포에 미치는 영향: a -  $I_c = 3.0\text{ A}$ , b -  $I_c = 2.0\text{ A}$ , c -  $I_c = 2.0\text{ A}$ , d -  $I_c = 0\text{ A}$ , e -  $I_c = -2.0\text{ A}$ , f -  $I_c = -3.0\text{ A}$ .

그림 5는 타깃과 기관간 거리 변화에 따른 이온전류 밀도 분포를 나타낸 것이다( $I_c=3.0\text{A}$ ). 거리( $L$ )가 8cm 일 경우, 그림 4에서와 같이 마그네트론 축에 집중된 증착 분포를 보이나, 거리  $L$ 이 증가함에 따라 균일도가 향상되는 것을 알 수 있다. 거리  $L$ 이 15cm 인 경우 본 실험 범위에서는 가장 우수한 이온전류 분포 특성을 보였으며, 이때의 평균  $I_c$ 는  $0.5\text{ A/cm}^2$ 로서 보조 전자기 코일을 사용하지 않은 UBM 상태의  $I_c$ 인  $0.3\text{ A/cm}^2$ 보다 높음을 알 수 있다.

이로 부터 보조 전자기 코일을 통해 전자장 분포를 제어함으로 인해 스퍼터링 효율 및 박막의 증착 균일도를 동시에 향상시킬 수 있었으며, 나아가 입사이온의 증가로 인해 증착된 박막의 특성도 향상됨을 예상할 수 있다.

기존 마그네트론 스퍼터의 경우 전자가 가지고 있는 대부분의 에너지는 양극이나 진공챔버에 도달하는데 소모된다. 하지만 비평형 마그네트론 스퍼터 (UBM)의 경우 강력한 측면 수직자기장의 존재로 인해 전자는 자기선을 따라 B벡터에 수직인 방향으로 나선운동을 하며 기관을 향해 분출된다. 동시에 이온은 전자와의 정전기적 인력에 의해 마그네

트론 방전영역을 탈출하여 기관으로 가속되게 되는데, 이로 인해 자기장에 의해 구속되어 형성된 음의 공간전하를 보상하며 플라즈마의 준중성상태를 유지하게 된다.

타깃과 기관사이의 공간에 전자의 농도를 증가시키면 전자와의 충돌에 의해 스퍼터된 원자의 여기나 이온화 확률이 증가하게 된다. 따라서 보조 전자기코일에 의해 보다 측면 수직자기장의 세기를 증가시키게 되면 기관과 타깃사이의 공간에 전자 농도를 크게 증가시킬 수 있으므로, 이로 인해 입사하는 이온의 전류밀도가 증가한 것으로 판단된다.

하지만 코일전류 ( $I_c$ )의 증가는 마그네틱 렌즈 효과로 인해 마그네트론 축방향으로 이온을 집중시키는 결과를 가져오므로, 타깃과 기관간 거리를 증가시켜 자기장 집중밀도가 분산되어 증착균일도를 향상 시킬 필요가 있다.

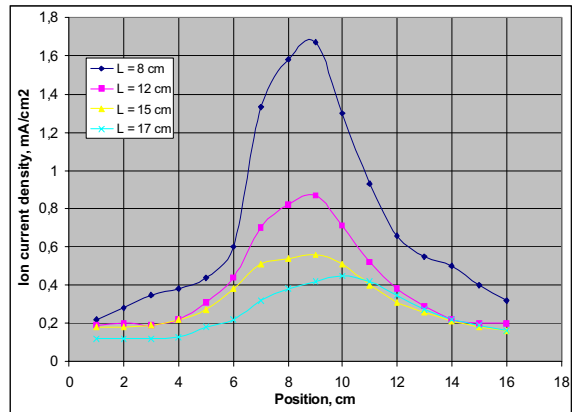


그림 5 타깃과 기관간 거리에 따른 입사이온 전류밀도 분포 변화.

### 3. 결 론

본 연구에서는 스퍼터 타깃과 기관사이의 전자장 분포를 제어하고자 보조 전자기코일을 부가하고 코일에 인가되는 전류가 마그네트론 방전특성에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과, 보조 전자기 코일을 통해 전자장 분포를 제어함으로 인해 스퍼터링 효율 및 박막의 증착 균일도를 동시에 향상시킬 수 있었으며, 나아가 입사이온의 증가로 인해 증착된 박막의 특성도 향상됨을 예상할 수 있다.

### 감 사 의 글

본 연구는 부품소재산업진흥원의 한·유라시아권 국제기술 협력사업의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] I.V. Syadkoyski, D.A. Golosoy, S.M. Zayatski, Characterization parameters for unbalanced magnetron sputtering systems, Vacuum 68, p.283, 2003.
- [2] P.J. Kell, R.D. Arnell, Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications, Vacuum 56, p.159, 2000.
- [3] J. Musil, Low-pressure magnetron sputtering, Vacuum 50, p.363, 1998.
- [4] P.J. Kell, R.D. Arnell, Characterization studies of the structure of Al, Zr and W coatings deposited by closed-field unbalanced magnetron sputtering, Surf. Coat. Technol., 97, p.595, 1997.