방전 간격에 따른 Closed Drift 선형 이온원의 이온빔 인출 특성 연구

Discharge Gap Effects on Ion Beam Extraction in the Closed Drift Linear Ion Source

이승훈*, 김재운, 김종국, 김창수, 강재욱, 김도근*
한국기계연구원 부설 재료연구소 (E-mail:seunghun@kims.re.kr)
(*교신저자: dogeunkim@kims.re.kr)

초 록: 300 mm급 선형 이온원의 방전 간격에 따른 방전 및 이온빔 인출 특성 변화를 연구하였다. 방전 간격이 2 mm에서 3 mm로 증가함에 따라 동일 방전 전압에서 방전 전류가 약 20% 증가하였으며, 이는 방전 공간 내 플라즈마 발생 증가에 의한 것임을 object oriented particle in cell 전산모사를 통해 확인하였다.

1. 서론

대면적 연속 표면처리 기술의 응용 분야가 다양해지면서 선형 이온원을 사용한 표면처리 공정이 다분야에서 개발되고 있다. 효율적인 표면처리 공정 개발을 위해서는 고성능 선형 이온원 개발이 요구되며, 대면적 고밀도 이온빔 인출이 가능한 이온원 개발을 위해 이온원의 전극 및 자장 구조 최적화 연구들이 수행되어 왔다[1-3]. 특히 음극 사이 전자기장 내 ExB 운동을 하는 전자의 효율적인 구속을 위한 연구들이 진행되어 왔으며, magnetic mirror 및 강한 자기장 형성을 통해 방전 간격보다 작은 전자 Lamor radius 형성을 위한 구조 최적화가 이루어졌다. 방전 간격 내 전자의 효율적인 구속이 closed drift형 선형 이온원의 성능을 결정하는 중요한 요소이므로, 방전 간격에 따른 전자 거동 분석이 중요하다. 본 연구에서는 방전 간격에 따른 선형 이온원 내부의 방전 현상 이해를 위해 전자기장에 따라 운동하는 전자 거동을 2D object oriented particle in cell 전산모사를 통해 분석하였으며, 패러데이 컵을 통해 인출되는 이온빔 밀도를 측정하였다.

2. 본론

본 연구에서는 closed drift 방식의 선형 이온원 중 anode layer 방식의 이온원을 연구하였다. Anode layer 방식의 선형 이온원은 구조가 간단하고 유지보수가 쉬운 장점이 있으며, 대면적으로 고밀도 및 고에너지 이온빔을 방출시킬 수 있다. 그림 1은 본 연구에서 개발된 선형 이온원의 방전 사진이며 전 면적에서 이온빔이 안정적으로 인출됨을 알 수 있다. 이때 방전간격은 2 mm, 방전 압력은 1.5 mTorr, 빔 인출 폭은 300 mm, 방전 가스는 Ar, 방전 전압는 3 kV 이다.

Fig. 1. Closed drift linear Ion source (Anode layer type)

선형 이온원의 방전 상태는 인가되는 전압 전류 변화를 통해 관찰 가능하며, 다음 그림 2는 방전 간격이 2 mm 및 3 mm인 경우 Ar 유량 10~30 sccm (압력: 0.7~2.4 mTorr)에서의 방전 전압 전류 곡선이다. Ar 유량이 높은 경우 방전 전류가 증가하며, Ar 유량 증가에 따라 이온화에 기여하는 Ar 중성입자 수가 증가하여 방전 전류가 증가하였다. 방전 간격이 증가함에 따라 방전 전류가 약 20 % 향상됨을 알 수 있으며, 이는 방전 공간 내 플라즈마 밀도 증가에 따라 전자 및 이온과 전극 간 충돌 현상이 증가하여 방전 전류가 향상됨을 의미한다. 이는 다음 그림 3에서 확인 가능하다.

그림 3은 2D object oriented particle in cell (OOPIC)을 통해 계산한 방전 공간 내 전자의 분포를 나타낸다. 전산모사에 사용된 mesh는 160x190이며, 16 mm x 19 mm 공간을 계산하였다. 방전 간격 2 mm 및 3 mm를 나타내는 그림 3(a)와 그림 3(b)를 비교하면, 3 mm인 경우 방전 간격 내 전자 발생이 보다 효율적임을 알 수 있으며 구속된 전자의 부피가 방전 간격 2 mm 경우에 비해 큼을 알 수 있다. 이를 통해 방전 간격 내 전자-중성가스 간 충돌에 의해 Ar 이온이 보다 활발하게 발생됨을 예측할 수 있으며, 이온원로 부터 100 mm 거리에 위치한 패러데이 컵을 통해 측정한 이온전류 밀도를 비교하면 2mm 경우 0.92 mA/cm^2, 3mm 경우 1.35 mA/cm^{2}의 값을 나타냈다. 그림 2에서 나타난 방전 간격 증가에 따른 방전 전류 증가는 전산모사를 통해 나타난 전자의 부피 증가에 따른 전극으로의 전자 전류 증가를 통해 이해 가능하다.

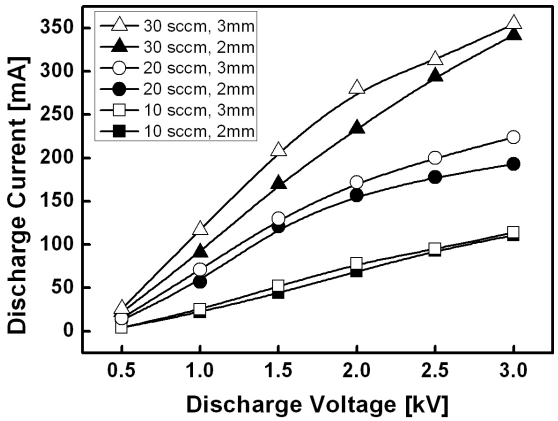

Fig. 2. I-V curves at various discharge gaps and Ar flow rates

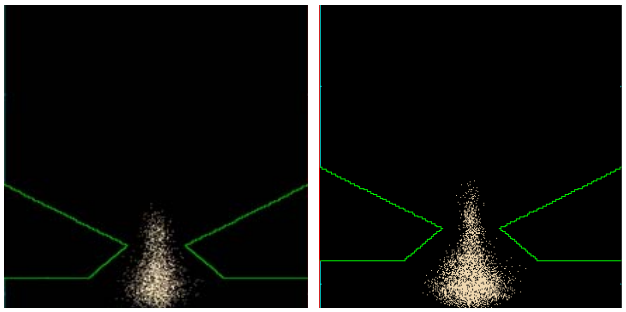
Fig. 3. Electron distribution in discharge gap. (a) 2mm, (b) 3mm

3. 결론

Anode layer형 Closed drift 선형 이온원의 3 mm까지의 방전 간격 증가는 2.4 mTorr까지의 압력 범위에서 방전 간격 내 효율적인 전자 발생에 효율적이며, 인출되는 이온빔 전류 밀도 및 방전 전류를 증가시킨다. 방전 간격 내 전자 거동 이해를 위해 OOPIC 전산모사를 사용한 결과, 전자 거동 및 분포를 확인 가능하며 다양한 선형 이온원 개발시 이온원 내 전자 거동 분석에 사용 가능하였다.

참고문헌

1. W.-K. Choi, D.-H. Park, Surf. Coat. Technol., 203 (2009) 2739-2742
2. D.-H. Park, J.-H. Kim, Y. Ermakov, W.-K. Choi, Rev. Sci. Instrum. 79 (2008) 02B312
3. V. Dudnikov, A. Westner, Rev. Sci. Instrum. 73 (2002) 729-731