

Cold hollow cathode 방식의 고밀도 이온소스에 관한 연구

A Study on the cold hollow cathode ion source for high current density

*#최성창¹, 강인철¹, 한재길¹

**S. C. Choi(scchoi@step.or.kr)¹, I. C. Kang¹, J. K. Han¹

¹송도테크노파크 나노표면기술실

Key words : Cold hollow Cathode, Ion source, Ion milling, Ion gun

1. 서론

1960년대 우주선 추진체로 개발되던 이온원은 박막 증착, 표면처리 및 정밀 가공 공정 등에 응용되기 시작하면서, kaufman 이온원, cold hollow cathode¹⁾ 이온원, RF²⁾ 이온원과 ECR (electron cyclotron resonance)³⁾ 이온원 등 다양한 이온원이 개발되었고, 이중 cold hollow cathode 이온원은 이온빔의 질이 우수하고, 가격이 저렴하며, 비활성 및 반응성 기체를 이온으로 사용할 수 있어 산업 전반에 널리 사용되고 있다. Cold hollow cathode 이온원의 대표적인 방식인 duoplasmatron의 경우 주로 표면처리나, 표면 세정 등에 사용되어 왔으며, 이러한 이유로 기존의 연구 방향은 대면적에 균일하게 이온을 조사할 수 있는 방법에 대한 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 Cold hollow cathode 이온원 중 기존의 대면적용 이온원과, 고밀도용 이온원의 구조와 특성에 대하여 살펴보고자 한다.

2. Cold hollow cathode ion source 구조

Plasmatron 방식의 cold hollow cathode 이온소스의 구조는 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)(A type)는 대면적 표면처이용 이온소스이고 Fig. 1(b) (B type)와 (c)(C type)는 고밀도용 이온소스이다. 대면적용과 고밀도용 이온소스의 차이는 이온인출 전극 구조와, anode cavity 하단 부분의 reflector 설치 유무이다. Reflector는 cathode cavity 형성된 전자가 anode cavity 이동할 때 중심 방향으로 이동하는 것을 억제하여 이온빔이 대면적에 균일하게 조사될 수 있도록 하여준다. 반면 고밀도용 이온소스의 경우 reflector 제거하는 것이 anode cavity 중심부에서 이온화가 이루어져 유리하다.

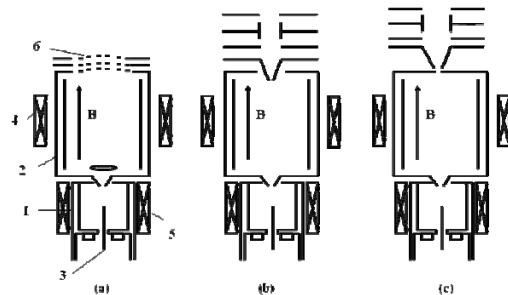


Fig. 1 Schematic diagram of plasmatron system. 1-cold hollow cathode, 2-anode 3-igniting electrode, 4-5-permanent magnet, 6-ion optical system.

대면적용 이온원의 경우 그리드 구조를 이용하여 이온빔을 인출하게 되는데 convex 한 구조의 그리드를 사용하여 인출되는 빔이 발산하도록 하는 구조로 되어있다. 반면 고밀도용 이온소스의 경우 이온빔을 집속하기 위한 ion optical system을 이용하여 이온빔을 인출한 후 집속하여 이온빔의 밀도를 높인다.

3. Ion source 구조에 따른 이온빔 방출특성

이온소스로부터 방출되는 전류밀도는 J_i 는 아래와 같은 식으로 표시된다.

$$J_i \propto A \sigma_i n_o e (kT_e/m_i)^{1/2} \quad (1)$$

높은 전류밀도를 얻기 위해서는 플라즈마 밀도를 높여 주어야하는데 플라즈마 밀도는 방전전류(I_d)와 비례하기 때문에 방전 전류를 높여 주어야 한다. Fig. 2에서 보듯이 일정한 전

압(Break down voltage) 넘으면 I_d 의 양은 V_d 에 선형적으로 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 진공도가 낮아질수록 동일한 I_d 를 얻기 위하여 높은 V_d 가 필요하다. 진공도가 1×10^{-5} Torr 영역보다 낮아지면 GD는 지속되지 못하고 사라지는 현상을 보여주었다. 진공도가 너무 높아질 경우 방전 모드가 GD에서 Arc discharge로 바뀌는 현상이 관찰 되어 실제 이온 소스가 본래의 역할을 할 수 없게 된다.

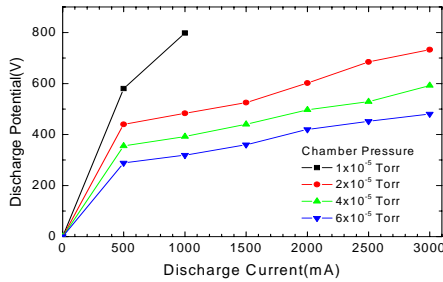


Fig. 2 Changes of discharge potential as a function of discharge current.

Fig. 3(a)와 (b)는 B type과 C type 구조의 이온빔의 이온빔 포텐셜의 변화에 따른 방출되는 이온빔의 밀도의 변화를 보여준다. C type의 경우 방전 전류에 비례하여 이온빔 밀도가 증가하여 eq. 1의 조건을 만족한다. 반면 B type의 경우 방전전류가 증가함에 따라, 인출되는 이온빔 밀도가 급격히 증가하나, 방전전류가 200~300 mA를 넘어서면 급격히 감소하는 경향을 보여준다. 이는 eq. (1)과 다른 결과이다. 이러한 이유는 방전전류를 증가시키기 위해서는 방전 전압을 증가시켜야 하는데, 방전전압이 증가할 경우 anode cavity 내부의 전위 변화가 발생하여 플라즈마 내부에 있는 이온들이 extractor 구멍을 통하여 인출되기 보다는 extractor 주변에 충돌되어 효과적으로 이온이 인출되지 못하기 때문으로 판단된다.

A type의 경우 대면적용으로 20 cm 떨어진 지점에서 직경 20 cm 내부에 5% 이내의 이온빔 균일도를 가지도록 빔을 조사할 수 있다. 반면 C type의 경우 ion optical system을 통하여 인출된 이온빔을 이온원 인출구의 크기와 유사한 크기로 집속할 수 있다.

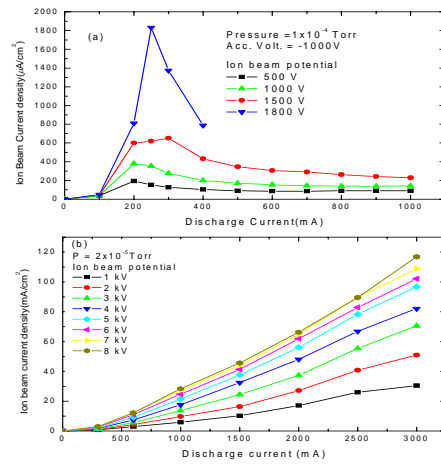


Fig. 3 Changes of ion beam current density as a function of ion beam potential. (a) type B, (b) type C.

4. 결론

이상 살펴 본 바와 같이 cold hollow cathode 이온원은 그 구조에 따라 특성이 매우 다르며, 고밀도 이온빔을 얻기 위해서는 다양한 변수를 고려하여 이온원을 설계하여야 한다. 본 이온소스의 경우 10kV 가속조건에서 최대 이온빔 밀도는 120 mA/cm^2 로 이온빔을 이용한 가공 장치에 이용될 수 있을 것으로 기대 된다.

후기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Garzino-Demo, G. A., Lama, F. L., "Low energy universal cold cathode ion source" Surf. & Coating Technol., **76-77**, 645-654, 1995.
2. Korzec, D., Engemann, J., Rapp, J. "Performance characteristics of a capacitively coupled 3cm rf ion source" Rev. Sci. Instrum., **63**, 3068-3067, 1992.
3. Voronin, G., Solnyshkov, D., Svinin M., Solnyshkov, A., "High- current ECR ion source" Nucl. Instr. & Meth. Phys. Res. B, **161-163**, 1118-1122, 2000.