

미세부품가공을 위한 이온빔 가공장치의 RF 이온원 방전 특성 연구

Characterization of RF Ion Source for Nanofabrication

*#김종국¹, 김도근¹, 강제욱¹

*#J.-K. KIM(kjongk@kims.re.kr)¹, D-G. Kim¹, J.-W. Kang¹

¹ 한국기계연구원 부설 재료연구소 표면기술연구부

Key words : Ion source, RF-type, Plasma, Ion Beam

1. 서론

산업사회의 기술고도화와 함께 표면 미세구조 제어기술 분야에서 요구하는 기술적 한계도 함께 변화하여 기존 sub-micro 의 벽을 넘어 nano 시대에 접어 들고 있다. 이로써 반도체, 정보표시, 에너지 변화 기술 분야에서의 기능성 소자 제작을 위한 표면 미세 가공 기술 또한 새로운 기술적 수준이 요구되고 있다. 현재 가장 널리 이용되고 있는 표면 미세가공 기술은 광(light)을 이용하는 photo-lithography 기술로서 최소 패턴의 크기가 빛의 파장에 의해 결정되어지는 본질적인 한계를 지니고 있어, 100 나노미터 내외에서 한계를 드러낼 것이라는 것이 전문가들의 예측이다. 물론 100 나노미터(nm) 이하의 패턴이 가능하더라도 신뢰성 및 안정성 측면에서 문제가 있다.

차세대 극미세 가공 기술의 가장 진보된 형태로 평가되는 기술은 이온빔 이용기술이다. 나노 패터닝을 위한 현재의 모든 극미세 가공 시스템은 복잡하고 정교한 mask 제작이 필요하며, 이는 필연적으로 소자의 제조단가와 공정시간의 상승을 초래하게 된다. 그리고 X-선 리소그래피의 경우, 침투 깊이가 매질 내에서 명확히 정의되기 어려우므로 기판 위에 코팅된 레지스트에 방사광이 완전히 침투하는 방식을 취하므로 경우에 따라 레지스트와 기판간의 변형문제가 우려되어 X-선이나 전자선에 비해 매우 효율적인 이온빔 응용 리소그래피가 보다 유리한 기술로 인식되고 있다.¹ 최근 새로운 극미세 가공 기술 개발에서 상당한 성과를 보이고 있는 이온빔 기술 중, 이온빔을 넓은 평면 형태로 확대를 하여 스텐실 마스크(stencil mask)를 통과시켜 원하는 패턴의 이온빔을 형성시킨 다음 집속하여 나노미터 크기로 줄여 패터닝하는 이온빔 투영법(ion projection lithography, IPL)이 있다. 이미 이 기술을 이용하여 50 nm 이하의 분해능을 입증하였으며, 이온빔 투영법의 분해능 한계는 수 nm 까지라고 예측되고 있어 현재의 기술로는 수십 nm 의 패턴은 가능할 것이라 예측된다.

본 논문에서는 미세부품가공을 위한 이온빔 가공 기술의 핵심이 되는 RF 이온원 장치를 설계 및 제작하였으며, 제작된 이온원의 방전 특성을 비교 분석하였다.

2. 이온원 설계 및 제작

이온빔 가공장치에 사용될 수 있는 여러 형태의 이온원 소스 중에서 본 연구에서는 RF-type 이온원을 개발하였다. 개략적인 설계는 그림 1(a)와 같으며, 실제 RF 이온원은 그림 1(b)와 같이 제작 되었다. 이온원의 플라즈마실은 지름 25 mm, 길이 72 mm 로 quartz tube 를 이용하여 제작하였으

며, 이온 인출 개구부(aperture)는 1 mm 로 하였다. RF antenna 를 형성하기 위하여 구리 코일을 quartz tube 주위에 감았으며, 이때 사용된 코일 턴 수 (number of coil turns)는 n=3 를 사용하였다. 플라즈마실에는 아르곤(Ar) 가스를 주입하였으며 고진공 펌프 주변에서 반응 압력을 측정하였다. 이때 측정된 반응 압력은 2×10^{-4} Torr 수준이 되도록 아르곤 가스를 미세 조정하였다. 사용한 전원은 13.56 MHz 를 지닌 RF 파워를 사용하였으며, 유도 결합형 플라즈마 (Inductively Coupled Plasma, ICP) 방식을 적용하여 아르곤 가스 방전을 일으켰다. 이때 적용된 RF 전원의 파워를 80 W 까지 변화하였으며, 인출부에 인가되는 인출 전압은 3 kV 까지 가변하면서 인출되는 Ar 이온 밀도를 측정하였다.

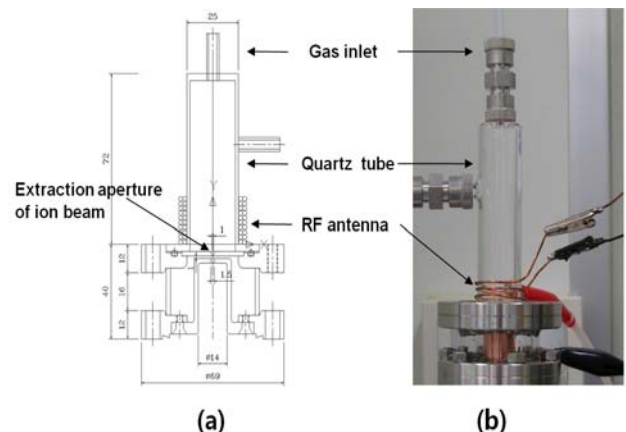


Fig. 1 (a) Schematic diagram of RF-type ion source and (b) fabricated ion source.

3. 이온원의 방전 특성

그림 2 는 각각 60 W 및 80 W 의 RF power 가 인가되었을 때 이온원의 방전 사진이다. RF 파워가 구리 코일에 인가되면 시간에 따라 변화하는 자기장 및 전기장에 의해 전자들이 가속되며, 이렇게 가속된 전자들이 아르곤 가스와 충돌하게 되어 가스를 이온화하고 이에 의해 플라즈마가 형성된다. RF antenna (구리 코일)주위에 유도 결합된 전자의 운동에 의해 형성된 플라즈마 방전은 대부분이 RF antenna 주변에 국한되어 형성됨을 볼 수 있다. 인가된 RF power 가 증가할수록 방전된 플라즈마 크기(volume) 및 밀도가 증가함을 확인 할 수 있다.

그림 3 은 인가된 RF 파워 및 인출 전압(extraction voltage)에 따라 측정된 인출 이온빔 전류 밀도이며, 최대 486 uA/cm^2 의 이온 전류 밀도를 보였다. 60 W 의 RF 파워 인가 시, 인출 전압이 3 kV 까지 증가함에 따라 인출되는 이온빔 전류 밀도는 1.0 uA/cm^2 에서 330 uA/cm^2 로 증가하였다. RF 파워가 80 W 인 경우에는 2.1 uA/cm^2 에서 486 uA/cm^2 로 증가된 이온빔 전류 밀도가 측정되었다. 그림 3

에서 확인할 수 있듯이, RF 파워가 낮은 60 W의 경우에 낮은 인출 전압에서 이온빔 전류 밀도가 포화되는 것을 볼 수 있으며, 이러한 원인은 형성된 플라즈마 밀도에 따른 원인으로 판단된다. 즉, 인출 개구부 주변에 고밀도 플라즈마가 형성이 된 경우에는 인출 전압의 변화에 선형적으로 이온빔이 인출이 되지만, 밀도가 낮은 플라즈마의 경우 낮은 인출 전압에서 포화가 발생하기 때문이다. 가스 이온 소스를 적용한 이온빔 가공을 위해서는 인출 개구부 주변에 고밀도 플라즈마 형성이 요구됨을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 향후에 CUSP 자장 및 자장 필터를 적용하여 인출 개구부에 플라즈마 밀도를 높이기 연구를 추가로 수행하고자 한다.

발사업을 통해 지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. G. P. Agrawal. "Semiconductor Laser : Past, Present, and Future", AIP Press New York, 1995, P. Bhattacharya, "Semiconductor Opto-electronic Devices 2nd ed". Prectice-Hall, Upper Saddle River, 1997
2. Y. Lee, R.A. Gough, T.J. King, Q. Ji, K.N. Leung, *Microelectronics Engineering*, **46**, 469-472, 1999.
3. S.K. Hahto, S.T. Hahto, q. Ji, K.N. Leung, and S. Wilde, *Review of Scientific Instruments*, **75**, 355-359, 2004.

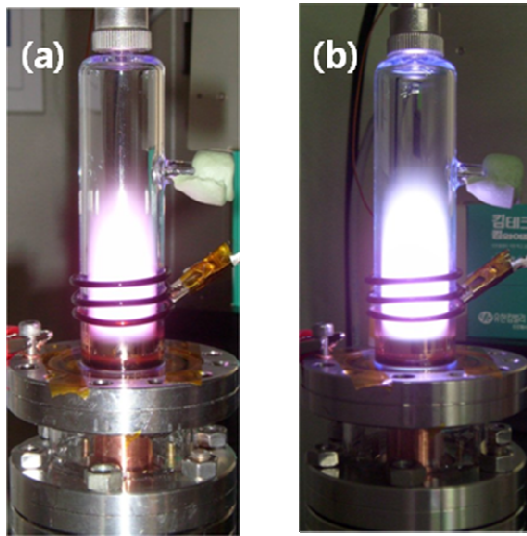


Fig. 2 Pictures of ion sour at (a) 60 W and (b) 80 W of RF power with a pressure of 2×10^{-4} Torr.

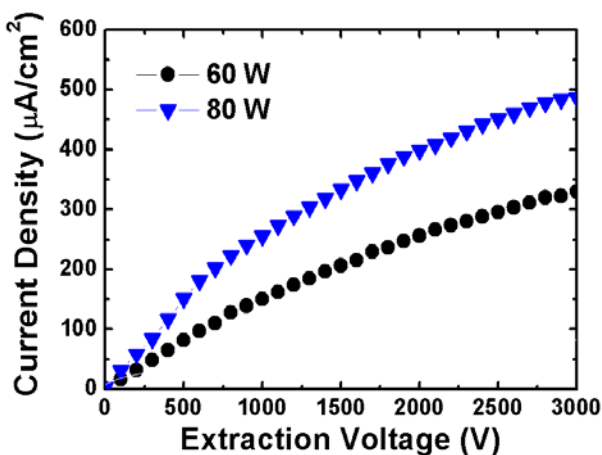


Fig. 3 Measured total ion current density as a function of the extraction voltage at 60 W and 80 W of RF power and 2×10^{-4} Torr of source pressure.

후기

본 연구는 지식경제부에서 시행한 2007년 차세대신기술개