

갈륨액체금속 이온원과 인듐액체금속 이온원의 빔 특성에 대한 연구

현정우*, 임연찬, 정강원, 정원희, 박철우†, 이종향‡, 강승언

The study of beam characteristics for Ga LMIS and In LMIS

Jeong Woo Hyun, Youn Chan Yim, Kang Won Jung, Won Hee Jung, Cheol Woo Park,
Jong Hang Lee, Seung Oun Kang

Abstract

본 연구에서는 인듐 액체금속이온원을 제작하여 빔 특성에 대해 연구를 하였으며, 기존에 연구를 하였던 갈륨 액체금속 이온원의 빔특성과 비교 분석 하였다. 빔특성 분석을 위해 빔 안정도, 전류-전압 특성곡선, 에너지 퍼짐을 측정하였다. 액체금속이온원에 사용되는 액체금속 저장소 및 바늘전극(tip)은 500 μ m의 직경을 갖는 텅스텐을 사용하였으며, 국내에서 제작된 제품을 사용하였다. 액체금속 저장소의 구조는 이전에 구상하여 연구가 이루어진 6개의 pre-etching된 텅스텐 와이어(wire)가 묶여진 형태를 사용하였다.

Key Words : Ga Liquid Metal Ion Source, Indium Liquid Metal Ion Source

I. 서론

미래 고부가 가치 첨가제품을 개발하는 광 디지털 통신기술과 반도체, 바이오, 전자산업분야 등에서의 고기능 초미세 마이크로-나노 부품 기술개발에 대한 연구가 활발히 진행 중인 요즘, 현재 제품의 소형화에 있어서 가장 중요한 기술이 정밀 측정기술 및 마이크로와 나노영역의 초정밀 가공기술이라고 할 수 있다. 나노 기술에서의 핵심원천기술, 즉 초미세가공기술 및 정밀측정 기술은 국가 기술개발의 핵심기반으로 평가되며, 이러한 나노급 정밀 가공기술의 확보는 MEMS 응용분야의 중요 부품개발에서의 공정 기술의 제공을 가능하게 하여 나노 기술의 국내 경쟁력 확보가 가능하게 된다. 이러한 다양한 기능을 함축적으로 수행하고 개발 기간을 단축시킬 수 있는 장비로서 FIB(Focused Ion Beam)가 각광을 받고 있다. 이러한 FIB 장치는 80년대 중반부터 개발되어 현재 여러 가지 기초 및 응용분야에 사용되는데^[1-2]. 여기에 사용되는 이온원(Ion Source)은 고전류 밀도, 고선명도(High Brightness)^[3], 낮은

에너지 퍼짐^[4] 등의 특성을 지니고 있으며, 사용되는 이온원으로는 Ga, In, Au, Be, Si, Pd, Al, Ni 등이 연구되고 있다. 액체금속이온원의 이온방출 형태의 관측결과^[5]로부터 전형적인 바늘전극의 반경은 ~ 20 μ m 정도이고, 이에 대한 전기장은 ~ V/A 이다. 이러한 높은 전기장에 의해 액체막이 변형되어 전기응력과 표면장력이 평형을 이루게 되면서 Taylor cone이 형성된다.

본 연구에서는 Taylor cone이 안정적으로 형성될 수 있도록 10~20 μ m의 곡률 반경을 갖는 바늘전극을 제작하였고 이를 이용하여 인듐 및 갈륨 액체금속 이온원을 제작하였다. 제작된 이온원에 대한 전류-전압 곡선과 빔의 안정도, 에너지퍼짐을 측정하여 그 특성들을 비교 분석하였다.

II. 실험장치 및 방법

본 연구에서 인듐 및 갈륨 LMIS는 전기화학적(electro-chemical) 식각 방법을 이용하여 직접 제작되었다. 500 μ m 직경의 텅스텐선을 이용하였으며 바늘전극은

* 현정우, 광운대학교 전자물리학과 (jwhyun74@hanmail.net)

서울시 노원구 월계동 447-1

† 한국산업기술대학교 기계공학과

‡ 한국산업기술대학교 기계공학과

pre-etching, pointing, blunting의 3단계를 통해 제작되었으며 저장소는 pre-etching의 단계만으로 제작되었다.

전해질 용액은 $\text{CuSO}_4 : \text{KOH} : \text{H}_2\text{O} = 0.25\text{g} : 640\text{g} : 1000\text{ml}$ 의 비율로 사용한 혼합액을 사용하였으며 갈륨 저장소의 제작은 pre-etching을 400초를 하여 $410\sim 430\mu\text{m}$ 의 직경을 갖도록 제작하였다. 제작된 이온원을 이용한 로딩 과정은 $\sim 10^{-7}$ Torr의 진공도가 유지되는 진공 챔버 내에서 이루어진다. 고체인들을 진공 챔버 내부에 있는 도가니에 넣고서 가열을 하여 액체상태를 만들어서 액체갈륨을 적재하는 것과 동일한 절차로 액체 인들을 적재(loading)하였다.

제작된 인듐 액체금속이온원을 진공 장치에 넣고 고전압과 heating current(1.26A)를 주면서 방출되는 이온의 전류를 Faraday cup으로 측정한다. 일반적으로 빔의 안정성을 위해서는 $\sim 10^{-8}$ Torr 이하의 진공도가 필요하지만 본 실험에서는 $\sim 10^{-6}$ Torr로 유지된 상태에서 전류-전압 특성 곡선과 빔의 안정도 및 에너지 퍼짐을 측정하였다.

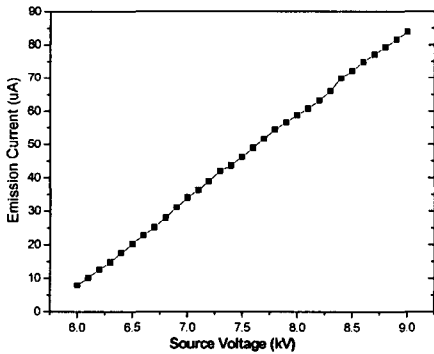


그림 1. 갈륨 액체금속이온원의 전류-전압 특성곡선

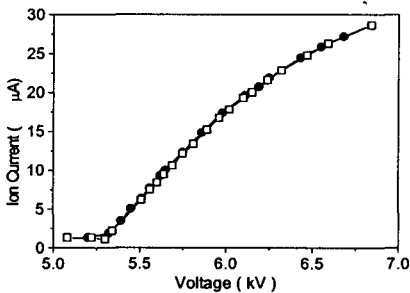


그림 2. 인듐 액체금속이온원의 전류-전압 특성곡선

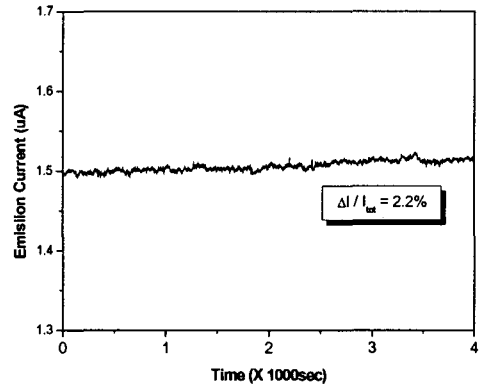


그림 3. 갈륨 액체금속이온원의 빔 안정도 그래프

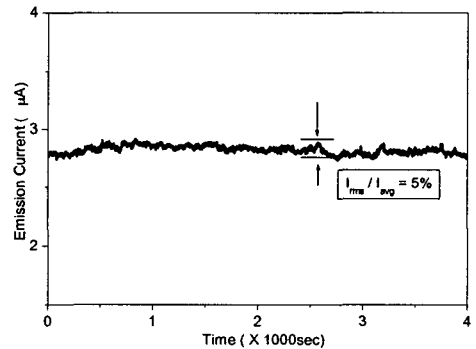


그림 4. 인듐 액체금속이온원의 빔안정도 그래프

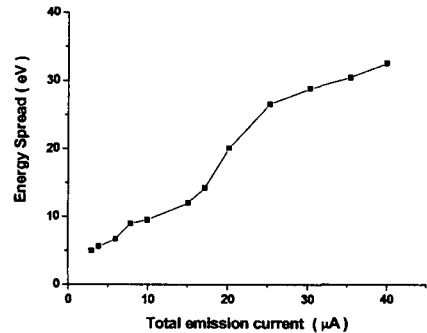


그림 5. 갈륨 액체금속이온원의 에너지퍼짐 곡선

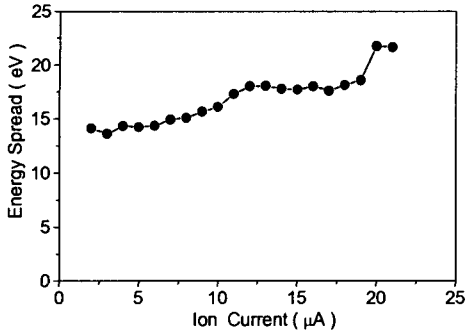


그림 6. 인듐 액체금속이온원의 에너지 퍼짐 곡선

III. 실험결과 및 분석

본 연구에서 개발, 제작한 인듐 및 갈륨 액체금속이온원의 전류-전압 특성곡선 측정과 빔의 안정도 및 에너지퍼짐을 측정하였다. 전류-전압곡선에서의 1 kV당 전류의 변화(기울기) 값에 대한 일반화된 값은 없으나 대개 15 μA ~ 20 μA 일 때 적당한 값으로 여긴다. 갈륨 액체금속이온원의 경우 거의 20 μA /kV의 기울기를 갖는 것을 그림 1을 통해 볼 수 있는데 인듐의 경우는 15 ~ 20 μA /kV이하의 기울기 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 그런데 전류-전압의 관계는 점화전압(ignition voltage) 이전에는 비선형적이지만 점화전압 이후에는 선형성을 지녀야 한다. 인듐의 경우는 고전압의 영역에서는 비선형적으로 전류 변화 값이 변화한데 반해 갈륨 액체금속 이온원의 전류-전압 특성곡선은 고전압 영역에서도 선형성을 잘 유지하고 있음을 그림 1과 2를 비교하여 볼 때 알 수 있다.

그림 3과 그림 4는 갈륨 액체금속 이온원과 인듐 액체금속 이온원에 대한 빔 안정도를 측정한 그래프이다. 4000초 동안 측정한 것으로 $I_{rms} / I_{avg} = 2.2\%$ 이내로서 빔의 방출이 상당히 안정적임을 알 수 있다. 인듐 액체금속 이온원의 빔 안정도는 그림 4에 나와 있듯이 안정도가 $I_{rms} / I_{avg} = 5.0\%$ 이내였다. 그림 3과 그림 4를 비교해 볼 때 갈륨 액체금속 이온원의 경우가 더욱 안정적인 것을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6에서는 갈륨 및 인듐 액체금속 이온원에 대한 에너지퍼짐을 측정하였다. 방출 빔의 양이 5 μA대 일때 갈륨은 ~6 eV인데 인듐의 경우는 ~15eV 입을 볼 수 있다.

IV. 결론

이전의 연구에서 개발된 갈륨저장소를 사용한 액체금속이온원을 이용하여 갈륨 및 인듐 액체금속 이온원을 제작하였다. 제작된 두 가지의 액체금속 이온원에 대한 빔특성을 연구하였다. 물리량으로서는 전류-전압 특성곡선, 빔 안정도, 에너지 퍼짐을 갈륨 및 인듐 액체금속 이온원에 대해 각각 측정하였으며 이들 결과를 비교 분석하였다. 인가된 전압에 대한 방출 전류량의 그래프를 통해서 볼 때 1kV당 방출되는 빔의 양은 두 경우 모두 15~20μA 대의 기울기 값을 가지지만 갈륨에 비해 인듐은 고전압 영역에서 기울기가 비선형성을 가진다는 것을 볼 수 있다. 빔의 안정도는 그림 3과 4에서 볼 수 있듯이 갈륨(2.2%)이 인듐(5%)에 비해 상당히 안정적임을 볼 수 있으며, 그림 5와 6의 그래프에서 방출 전류량이 5~10μA 일 때의 에너지 퍼짐을 비교한 결과 갈륨은 5~10eV 인데 반해 인듐은 13~16eV에 달함을 볼 수 있다. 에너지 퍼짐은 색수차(Chromatic aberration)의 요인이 되기 때문에 집속이온빔 장치(FIB system)에서는 중요한 파라미터(parameter)이다.

본 연구에서 제작된 갈륨 및 인듐 액체금속 이온원에 대한 빔 특성을 측정, 비교 분석한 결과 인듐을 사용한 이온원의 경우보다 갈륨을 사용한 경우 집속이온빔 장치의 이온원으로 더욱 적합함을 볼 수 있었다.

후기

본 연구는 2004년도 광운대학교 교내학술연구비와 산업자원에서 지원하는 차세대신기술개발과제인 “이온빔 이용 나노 가공용 장비 개발” 사업으로부터 지원을 받아 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J. Z. Wan, J. G. Simmins and D. A. Thompson, 1997, "Band gap modification in Ne⁺-ion implanted In_{1-x}Ga_xAs/InP and InAs_yP_{1-y}/InP quantum well structures," J. Appl. Phys. 81(2), pp. 765 ~ 770.
- [2] G. Ben Assayag, C. Vieu and J. Gierak, 1993, "New characterization method of ion current-density profile based on damage distribution of Ga⁺ forced-ion beam

implantation in GaAs," J. Vac. Sci. Technol. B 11(6), pp. 2420~2426.

[3] L. Seliger, J. W. Ward, V. Wang and R. L. Kubena, 1979, "A high-intensity scanning ion probe with submicrometer spot size," Appl. Phys. Lett. 34, pp. 310~312.

[4] H. S. Uhm, E. H. Choi, G. S. Cho and S. O. Kang, 1994, "Shift of peak energy distribution in field-emitted charged particle beams," Phys. Plasmas 1, pp. 4105~4113.

[5] G. Benassayag, P. Sudraud and B. Jouffrey, 1985, "In situ high voltage TEM observation of an electrohydrodynamic(EHD) ion source," Ultramicroscopy 16, pp. 1~8.