

액체갈륨 이온원의 에너지 퍼짐특성 및 에너지결손

안정권, 최은하, Andrew Shabalov, 조광집, 서은호, 강승인
 광운대학교 물리학과 대전위자립 연구실 (CPBL)

1. 서론

80년대 중반부터 집속이온빔(FIB: Focused Ion Beam)장치가 본격적으로 개발되어 산업현장 및 첨단 과학 기술 연구분야에서 주로 표면분석(surface analysis), IC의 수정(IC modification), 마스크의 교정(mask repair) 및 잘못된 부분의 분석(failure analysis)등에 사용되고 있다. 최근 FIB에 사용되는 액체금속이온원(LMIS: Liquid Metal Ion Source)은 고전류 밀도(high current density; $\sim 1.5A/Cm^2$), 고선명도(high brightness; $\sim 10^6 A/Cm^2 \cdot Sr$) 그리고 낮은 에너지의 퍼짐(low energy spread; $\sim 10eV$)등의 많은 장점을 이용하여 고분해능의 이온빔 리토그래피와 이온주입의 기술 및 극미세 가공 기술에 광범위하게 중요한 핵심원으로 연구되고 있으며 Al, Ga, In, Bi 등을 재료로 한 합금 LMIS 실험연구가 활발히 시도되고 있다. 본 실험에서는 그리드-저지형 정전 이온에너지 분석기를 제작하여, 빔의 질을 결정하는 중요한 요소로서 색수차를 결정하여 집속시 빔의 크기를 예측할 수 있는 액체 갈륨 이온원의 에너지 분포 및 퍼짐특성을 방출 전류량과 히터온도에 따라 조사하였다.

2. 실험방법

그림 1은 에너지 분포 및 퍼짐특성을 조사하기 위한 측정회로의 개략도이다. 리본 heater의 중앙에서 tip까지의 길이는 1.5mm로 하였고, extractor의 중앙구멍의 크기는 2mm 직경으로 하였다. 텅스텐 tip의 곡률반경은 $10\mu m$ 이며, tip끝과 extractor까지의 거리(d)는 1mm로 유지하였다. 실험 시 진공도는 1×10^{-5} Torr를 유지하였으며, 판별극의 전위(V_d)에 따른 컬렉터의 전류(I_c)를 측정하여 이온전류곡선을 얻었다. 그림 2은 저지형 전위분석기 RPA(retarding potential analyser)의 개략도이다. 외용기의 입구에 각을 형성했는데 이는 이온빔을 정렬시키는 동시에 이차전자를 차단시키는 역할을 하게 된다. 이온원에 가한 고전압하에서 외용기의 입구를 통과한 이온 중 특정값 이상의 속도를 가지는 이온만을 통과 시키기 위해 판별극(discriminator)에 0.1Volt의 분해능을 가지는 보조전원 회로를 제작하여 전위조절을 하였다.

3. 결과 및 고찰

가열용 텅스텐 리본의 히터전류는 1 Amps로 고정시켰으며, 방출전류량이 $8\mu A$ 일때 분석기의 판별극에 가한 전압(V_d)의 변화에 따른 collector의 이온전류(I_c)를 측정하면 그림 3과 같이 이온전류곡선 및 이온에너지 분포곡선을 얻을 수 있다. 그림 4는 방출전류량(5, 10, 15, $30\mu A$)에 따른 에너지 분포의 변화를 보이고 있는데 에너지 분포의 첨두값의 위치가 방출전류량에 따라 변해감을 알 수 있었다. 그림 5는 방출전류량에 따른 에너지 분포도를 보여주고 있는데 가해진 히터전류가 증가할 수록 에너지 퍼짐의 값(FWHM :full width at half maximum)이 커지는 경향을 알 수 있었다. 에너지 퍼짐($\Delta E_{1/2}$)과 방출전류량(I_T)과는 $\Delta E_{1/2} \propto I_T^{2/3}$ 의 관계가 있음을 알 수 있었다. 한편 tip에 가해진 heater 전류에 따라서 열전대 방식으로 측정된 결과 $I_H = 0A(297K)$, $I_H = 0.5A(327K)$, $I_H = 1.0A(391K)$, $I_H = 1.5A(453K)$ 로 나타났다. 방출이온전류가 $3\mu A$ 일때 히터온도에 따른 에너지 분포도의 변화를 그림 6에 나타내었다. 이온원의 전압을 extractor의 전위에 대하여 4.65kV로 하였을때, 방출된 이온빔은Maxwellian 분포를 하고 있으며, 이온빔의 에너지 결손(ΔE_c)은 $-4eV \sim +4eV$ 의 값을 가지고, 에너지 퍼짐($\Delta E_{1/2}$)은 6~10eV임을 알 수 있었다. 한편 그림 7은 방출전류량에 따른 에너지 결손값을 살펴본 것인데 방출전류에 따라서 에너지 결손의 값이 양 또는 음의 값으로 천이가 이루어짐을 알 수 있었다. 방출전류량이 15~20 μA 의 영역에서는 모든 히터 온도 영역에서 에너지 결손값이 증가하는 경향을 보이며, 특히 20 μA 이상의 방출전류하에서는 에너지결손의 값이 다시 감소하는 경향을 보였다. 한편 방출전류량이 적을때의 전계기화(field evaporation)에 의한 에너지 결손(ΔE_c)은 계산결과 $\sim 3.6eV$ 이며, 측정된 에너지 결손(ΔE_c)은 $\sim 4eV$ 이었다. 또한 방출전류량이 $3\mu A$ 일때 에너지 결손의 값이 온도가 증가 할 수록 감소하는 경향을 그림 8을 통해 확인하였다. 한편 에너지 결손(ΔE_c)이 큰 경우는 이온의 형성이 표면이온화과정(surface ionization), 즉 전계기화 과정에 의하여 이루어진다는 연구자들의 결과와 다른 이온방출원리를 내포하고 있다.

4. 결론

액체갈륨이온의 진행방향 에너지는 거의 Maxwellian 형태를 지니고 이온빔의 에너지 퍼짐(5~45eV)은 방출전류량(2~40 μA)에 따라 증가하며, tip의 표면 impedance에 따른 FWHM의 변화는 거의 없음을 알았다. 또한 tip의 온도가 증가할 수록 에너지 퍼짐이 커지고 이에 따른 에너지결손 값이 주된 이온 형성 mechanism에 기여함을 알 수 있었고, 액체갈륨 이온원은 주로 단원자, 단일전하(Ga^+)의 이온이 방출되며 낮은 source의 온도하에서는 이온방출 mechanism이 field evaporation임을 알았다.

그림 설명

- 그림 1. 측정 회로의 개략도
- 그림 2. 저지형 전위 분석기
- 그림 3. 에너지 분석기의 진류-전압 특성 및 이온에너지 분포
- 그림 4. 방출전류량에 따른 에너지 분포의 변화
- 그림 5. 방출전류량에 따른 에너지 spread
- 그림 6. 온도에 따른 에너지 분포의 변화
- 그림 7. 방출전류량에 따른 에너지 deficit
- 그림 8. Tip의 온도에 따른 에너지 deficit

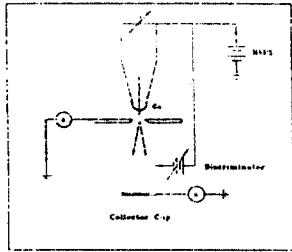


그림 1

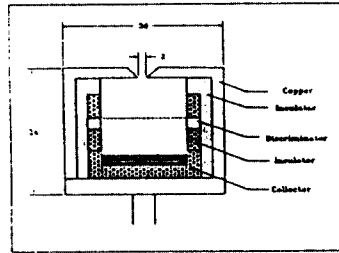


그림 2

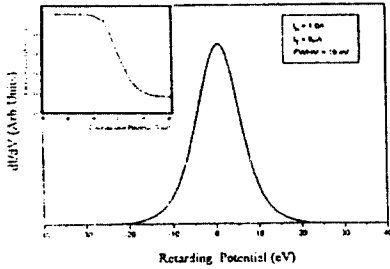


그림 3

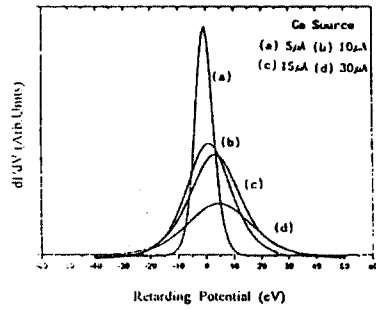


그림 4

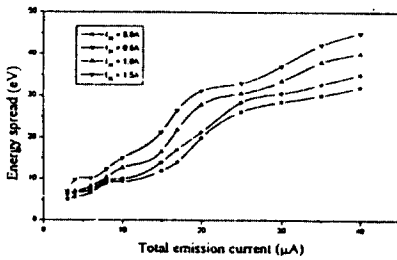


그림 5

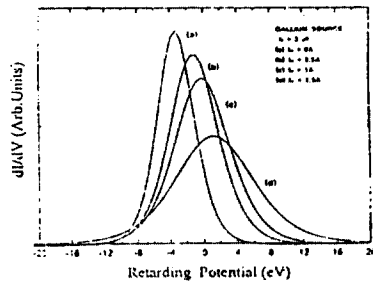


그림 6

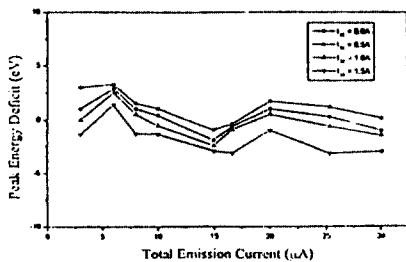


그림 7

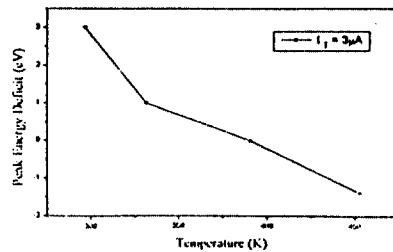


그림 8