

Thomson spectrometer를 이용한 액체금속 이온원의 특성조사

이우범, 홍연희, 최은하, 조광섭, 강승언
 광운대학교 물리학과 대전입자빔 연구실

1. 서론

80년대 중반부터 본격적으로 개발된 집속이온빔(Focused Ion Beam; FIB)장치는 최근에 금속이온원의 여러가지 장점이 밝혀짐에 따라 이온빔 lithography, 이온주입 및 극미세 가공 기술로의 연구가 활발히 진행중에 있다. 특히 이온원에 관한 폭넓은 연구의 결과로부터 집속이온빔장치의 최적화된 동작조건은 방출전류가 $5\mu\text{A}$ 이하일 때임이 알려져 왔다. 이처럼 저전류 영역에서 작동할 때는 특히 방출이온의 상태에 관한 분석이 이루어져야 하는데, 고전류 영역에서는 다양한 전하와 질량을 가진 이온들이 방출되어 이들이 결국 에너지 퍼짐 즉, 수렴성에 중대한 영향을 미침이 알려져 있기 때문이다. 따라서 방출이온의 상태에 관한 연구는 매우 중요하며 이러한 결과는 차후 E×B filter를 이용한 mass separation에 직접 응용될 것이다. 최근 몇년에 걸쳐 플라즈마 입자의 상태를 진단하는 방법으로 Thomson spectrometer를 사용한 실험이 행해져 왔다. Thomson spectrometer는 magnetic analyzer와 electrostatic analyzer를 결합한 것으로서 이온빔의 입사방향에 수직한 전기장과 자기장에 평행한 자기장을 걸어준 상태에서 이온빔을 통과시켜 전기장과 자기장에 의한 휨각(deflection angle)을 측정하여 이온빔의 상태를 분석하는 장치이다. 본 실험에서는 자체 제작한 Thomson spectrometer를 이용해 Ga-source로부터 방출되는 이온원의 상태를 분석하였다.

2. 이론

그림1은 입자원 계에서의 입자의 운동을 보여준다. 이온들은 Thomson spectrometer를 통과하면서 electric field와 magnetic field에 의해 휘게 된다.(그림4). 이때 휨각(deflection angle)은 각각 $\theta_e = ZeEL/Amv^2$, $\theta_b = ZeBL/Amv$ 로 주어지며 이식으로부터 이온의 속도, 운동에너지, 운동량 및 비전하를 구할 수 있다. 이 두식을 통해 $\theta_e = \frac{AmEL}{Ze(BL)^2} \theta_b^2$ 의 포물선 방정식을 얻을 수 있다.

3. 실험방법 및 결과

그림2는 실험장치의 개략도이다. 고전압에 의해 방출된 이온들은 정전렌즈를 통해 $20\mu\text{m}$ 로 집속되고 Thomson spectrometer내에서 휘게 된다. 본 실험에서는 detector로 저에너지 영역에서의 이온검출이 가능한 radiachromatic film을 사용하였으며 motion feed through를 이용해 다중노출이 가능하게 하였다. 자석의 양극에 가한 전위는 400VDC이며 자석간의 거리는 9.5mm, 중심에서의 자기장의 세기는 0.48T이다.(그림3). 실험은 다양한 조건하에서 방출되는 이온빔의 상태를 분석하기 위해 방출전류량에 따라서, 가열전류에 따라서 그리고 방출전압에 따른 실험을 하였으며 자석에 전위를 가하지 않은 상태와 자석에 전위를 가한 상태에서의 휨각을 비교하였다. 실험결과 detector상에 단일 spot이 검출되었는데 이는 방출이온이 단일 종류임을 알려준다. 방출전류와 가열전류를 각각 $5\mu\text{A}$ 에서 $34\mu\text{A}$ 로 그리고 0A(297K)에서 1.7A(477K)까지 증가시켰으나 spot의 변화는 없었다. 따라서 이 영역에서는 단일종류의 이온이 방출됨을 알 수 있다. Source전압에 따른 실험을 통해 얻어진 deflection angle을 계산하여 이온의 종류를 분석하였다. 결과를 전산결과(그림5)와 비교하여 검출된 이온이 전하1가의 Ga⁺임을 밝혔다. 그림6은 전압이 6.7 kV, 10 kV, 15 kV일 때의 결과이다.

4. 결론 및 토의

액체갈륨이온원에서 방출되는 이온의 종류는 Ga⁺이 주종을 이루고 있음을 알았다. Detector인 film이 2차전자에 쉽게 반응하기 때문에 spot이 상당히 broad해 졌고 따라서 mass resolution은 좋지 않았다. 그러나 전산결과와 비교할때 Ga⁶⁹의 이온으로 예상된다. 앞으로 좀더 정확한 분석을 위해서는 radiachromatic film이 아닌 박막에 조사시켜 화상으로 처리하여 관찰하는 것이 좋을 것이다. 또한 정전기장을 대체해 시간적으로 변화가능한 전기장을 걸어준다면 시간적으로 분해가 능한 스펙트럼을 얻을 수 있을 것이다.

그림설명

- 그림 1 Trajectory diagram
- 그림 2 Experimental apparatus
- 그림 3 Thomson spectrometer
- 그림 4 Deflection angle
- 그림 5 Thomson parabola (Simul.)
- 그림 6 Thomson spectrogram

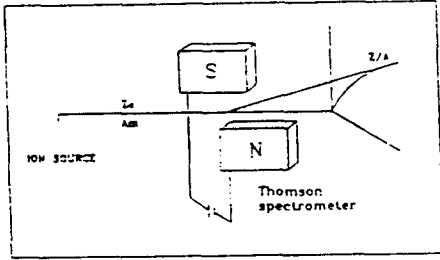


그림 1

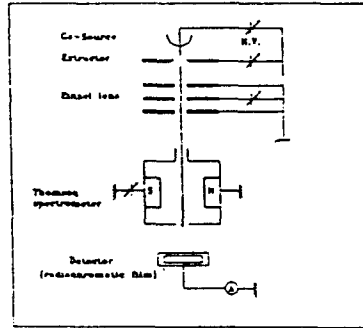


그림 2

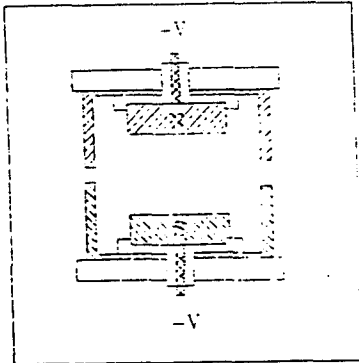


그림 3

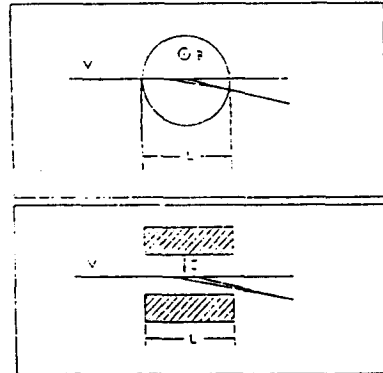


그림 4

Thomson parabola

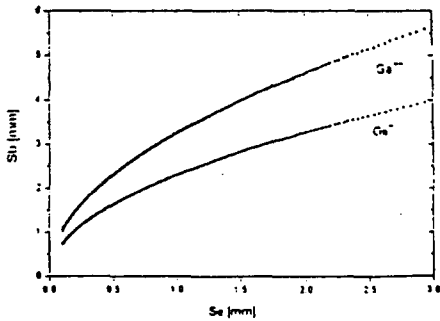


그림 5



그림 6