

MgO 박막의 γ 계수 측정용 이온빔원의 시작 및 동작특성

정신수, 김준호, 김희재, 조정수, 박정후, 박차수
부산대학교 전기공학과

Some Characteristics of Ion Beam Source for γ -Coefficient Measurement of MgO Thin Film

Shin-Soo Jeong, Jun-Ho Kim, Hee-Je Kim, Jung-Soo Cho,
Chung-Hoo Park, Cha-Soo Park

Pusan National Univ. Electrical Engineering Dept.

Abstract - The Kaufman type ion beam source with focusing lens was prepared to measure γ -coefficient of MgO thin film. Initial discharge of the system was started with the discharge voltage of 25V, the cathode filament current of 5.5A at the constant magnetic field of 150G. The system shows the maximum ion current density of $120\mu\text{A}/\text{cm}^2$, energy dispersion of 200eV and beam divergence of 30° under the condition of Ar gas pressure 2.5×10^{-4} Torr, the beam voltage of 500V, the discharge voltage of 90V, the accelerator voltage of -200V and the cathode filament current of 6.1A. When the focusing lens was installed onto the ion beam source, the spreadness diameter of ion beam was about 10mm.

가 되도록 배치하였다. 그리드 홀(Hole)은 모두 직경 1mm이고, 홀간격은 2.5mm로서 1cm^2 당 19홀로 구성되어 있으며 그리드간 간격은 조절 가능하도록 하였다. 이온총 내부에서의 플라즈마 생성과정은 다음과 같다. 음극에서 방출된 전자는 중심축에서 양극방향으로 싸이크로트론 운동을 하면서 이동한다. 일정 전계 E 와 자계 B 하에서 하전입자의 운동은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m \frac{dv}{dt} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

즉, 본 실험에서 사용된 이온총은 전자총들 전리형 이온총으로써 마그네트론 방식을 이용해서 방출된 전자를 방전공간에 구속하여 플라즈마를 형성시킨다.

이온총 외부로 이온빔이 방출되는 기구는 다음과 같은 세가지 현상의 복합된 결과라고 할 수 있다.

첫째, 플라즈마 내의 하전입자는 자기력선과 전기력선이 수직으로 교차하는 $\vec{E} \times \vec{B}$ 방향으로 가속되어 스크린 그리드 방향으로 진행하여 밖으로 방출된다.

1. 서론

플라즈마 디스플레이(이하 PDP)는 두께가 10cm이하로 제작될 수 있는 차세대 평판형 디스플레이로서 두 개의 패널(panel)로 형성되며 전면 패널에는 3mm정도의 유전층 및 유전체 보호층인 MgO층이 형성된다. 이 MgO 보호층은 PDP 표면방전시 유전체 스파터를 막아주며, γ -계수가 커서 방전전압을 저하시키는 중요한 역할을 담당하고 있다.

본 연구에서는 실제 PDP방전시 수반되는 이온충격에 의한 유전체 보호층의 γ -계수를 정밀측정하기 위하여 먼저 제어그리드가 있는 Kaufman형[1]을 개량한 이온빔 발생장치를 제작하여 그 동작특성을 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 실험에 사용된 이온빔원 장치의 개략도를 나타내고 있다. 이온빔원의 외형 치수는 직경 11.35cm, 길이 11.4cm인 원통형이며, 재질은 스테레스로 되어있다. 음극은 텅스텐 선을 슬레노이드 형태로 6회 감은 필라멘트이며 양극은 직경이 60mm인 원통형으로 하였다. 양극 외부에 배치한 영구자석은 원통형으로 150G의 ALNICO 영구자석으로서 원주상에 12개의 자극이 교대

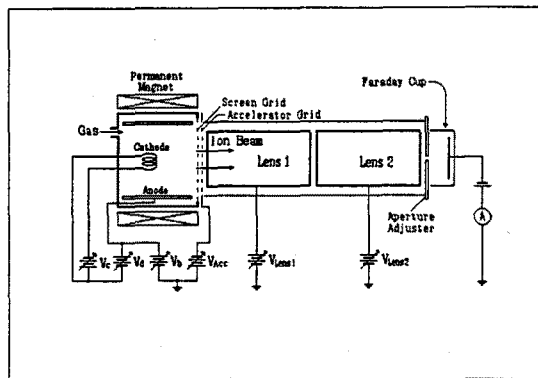


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

둘째, Bohm의 확산식[2,3]에서처럼 전위차와 입자의 밀도차가 존재하는 원통형 플라즈마에서의 확산에 의한 전자기적인 가속현상에 의해 이온이 방출된다.

$$D_{\perp} = \frac{1}{16} \frac{kT_e}{eB} \equiv D_B \quad (2)$$

$$\tau \approx \frac{nR}{2D_B \partial n / \partial r} \approx \frac{nR}{2D_B n / R} = \frac{R^2}{2D_B} \equiv \tau_B \quad (3)$$

여기서 j_e , R , n , D , τ , V_p 는 각각 전류밀도, 원통의 반경, 전자밀도, 확산계수, Bohm시간, 플라즈마전위이다. 즉, 하전입자의 밀도차가 존재할 때 식 (3)과 같은 확산시간 동안 식 (2)과 같은 확산 계수로서 확산되어 간다.

셋째, 플라즈마 시스에 접촉되어 있는 스크린 그리드는 플로팅전위(Floating potential)가 형성되어 이온이 확산되며 가속그리드의 부전위에 의해 가속된 이온은 다음의 Child-Langmuir식(4)으로 주어지는 전류밀도로써 이온총외부로 방출된다.

$$j = (4 \epsilon_0 / 9) \sqrt{2e/m} \frac{V^{3/2}}{l^2} \quad (4)$$

여기서, V 는 양극전위와 가속그리드전위 사이의 전위차이고, l 은 스크린그리드와 가속그리드 간의 거리이다.

방출된 이온빔의 전류밀도는 패러데이 컵으로 측정하였고 집속후의 이온빔 전류밀도는 렌즈2 상단 1cm 지점에서 직경 0.3~30mm까지 조절 가능한 조리개의 개구공을 통해 방출되는 이온빔의 전류밀도를 측정하였다.

이온빔 집속시스템은 스텐레스로된 두 개의 원통형 렌즈(electrostatic immersion lens)로서 내경 20mm, 길이 100mm로 제작하였고 렌즈간 간격은 3mm로 유지하였다. 원통형 렌즈에서 렌즈간 갭을 지나는 입자의 속도는 다음과 같이 주어진다.[5]

$$\Delta v_r = v_{rf} = \int dz [qE_r(r, z) / m v_z] \quad (5)$$

여기서, v_{rf} 는 방출된 빔의 방사속도이고 q 는 입자의 전하량, E_r 은 원통표면에서 r 방향의 전계의 세기, v_r , v_z 는 r 방향 및 z 방향의 입자의 속도이다.

이온빔의 에너지를 분석하기 위한 반발 그리드형 이온 에너지 분석기의 반발그리드는 300mesh의 스텐레스로 제작하였고 반발그리드 전압을 변수로 하여 이온빔의 에너지 분포를 X-Y Recorder로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2은 이온총외의 그리드 간격, 즉 스크린 그리드와 가속그리드 사이의 간격을 조절하였을 경우 이온전류밀도를 나타내고 있다.

일반적으로, 이온전류밀도는 식 (4)와 같이 두 그리드 간격의 제곱에 반비례 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 실험 결과 그리드 간격 0.8mm 이상에서는 비교적 그러한 경향을 보였으나 0.6mm 이하에서는 포화 특성을 나타내고 있다. 그리드 간격이 너무 적게 되면 식 (4)를 만족하지 않는 것으로 알려져 있다.

그림 3은 이온빔원의 방전전압을 가변시켰을 때의 전류밀도를 측정한 것이다. 동작가스압을 2×10^{-4} Torr로 일정하게 한 경우 방전전압 25V 부근에서부터 이온 전류가 검출되었다. 그 후 약 100V에서 최대 전류밀도를 나타낸 후 다시 감소하였는데 이는 Ar의 충돌전리단면적이

100V 부근에서 최대가 되기 때문으로 생각된다.

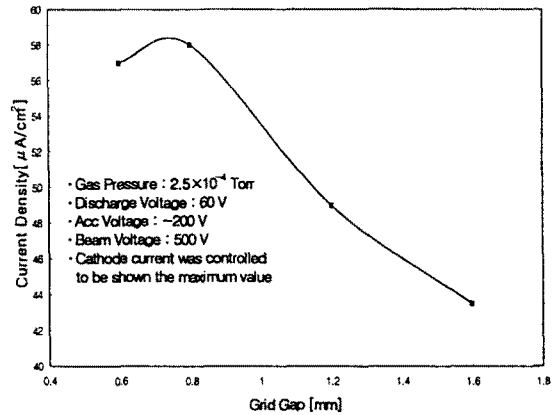


그림 2. 그리드 간격에 따른 이온빔 전류밀도

Fig. 2. Ion beam current density as a parameter of grid gap

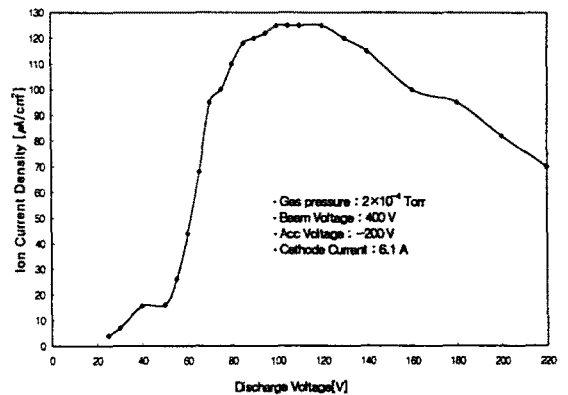


그림 3. 방전전압에 따른 이온빔 전류밀도

Fig. 3. Ion beam current density with various discharge voltage

그림 4는 음극 필라멘트전류를 가변시켰을 때 이온빔원으로부터 방출되는 이온빔 전류밀도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 이온빔 전류밀도는 필라멘트전류가 높을수록 증가하였으며 6~6.5A 정도일 때 최대치를 나타낸 후 감소하여 포화하는 경향을 나타내었다.

그림 5은 두 개의 정전 렌즈로 이온빔을 집속하였을 때 빔의 집속정도를 측정한 것이다. 정전 렌즈에 양의 전압을 가하여 방출된 빔을 집속하면 각 렌즈에 가한 전압의 값 및 두 렌즈의 전압비에 따라 빔을 집속시킬 수 있다. 실험에서 변수로 택한 것은 다음과 같은 두렌즈에 가한 전압비이다.

$$K = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad (11)$$

여기서, V_1 은 그림 1에서의 V_{Lens1} 전압이며 V_2 는 V_{Lens2} 전압이다. 집속된 빔 직경의 측정은 검출기를 렌즈2 상부 1cm 지점에 설치하여 전류의 검출 여부로 빔 직경을 측정하였다. 실험 결과 $K=5$ 일 때 가장 집속효과가 좋았으며 집속된 빔의 직경은 10mm 정도였다.

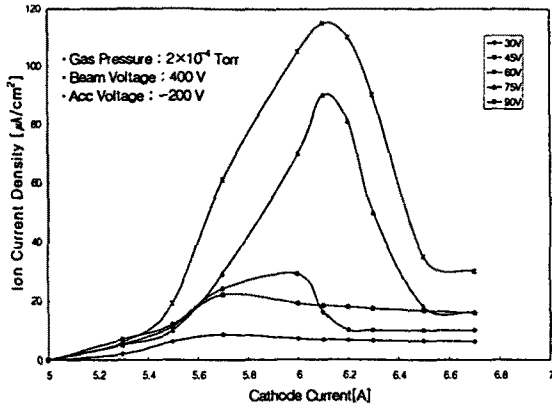


그림 5. 음극전류에 따른 이온빔 전류밀도
 Fig 5. Ion beam current density with various cathode current

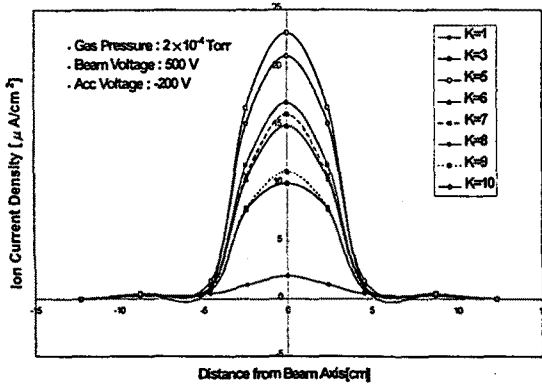


그림 6. 집속 후 빔 중심으로부터 거리를 변수로 한 이온빔 전류밀도
 Fig. 6. Ion beam current density as a parameter of distance from beam axis after focusing

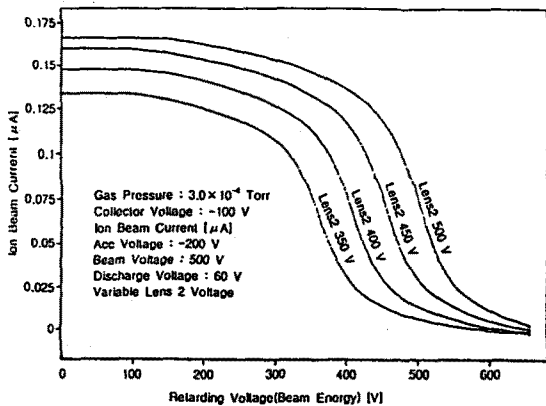


그림 7. 집속 후 렌즈2의 전압을 파라메타로 한 이온에너지 분석기의 전압-전류 특성
 Fig. 7. The voltage-current characteristics of an Ion Energy Analyzer as a parameter of Lens 2 voltage after focusing

그림 7은 이온빔원으로부터 방출된 빔을 집속하였을 때의 이온에너지 분포를 X-Y Recorder로서 측정 한 것이다.

실험결과에서와 같이 렌즈로부터 방출된 빔의 에너지는 식 (5)에서와 같이 렌즈2의 전계에 의존함을 알 수 있었다. 그리고 이온빔의 에너지분산도 100eV 정도로 개선되었다.

4. 결론

제어그리드가 있는 Kaufman형을 개량한 이온빔 발생장치를 제작하여 그 동작특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) Ar가압력 2.5×10^{-4} Torr, 빔전압 500V, 가속전압 -200V, 방전전압 90V, 음극전류 6.1A에서 이온빔원의 최대이온전류밀도는 $120 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 였다.
- (2) 집속 후 빔의 직경은 10mm였고 직경 1mm의 관통개구공을 통한 이온빔의 최대 이온전류밀도는 $0.15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 에너지 분산은 약 100eV였다.
- (3) 이온총의 그리드 간격 즉 스크린 그리드와 가속그리드 간격이 0.8mm이상에서 그 간격이 증가하면 이온전류밀도는 감소하는 특성을 나타내었다.

이상으로 본 연구에서 확인한 이온빔 발생장치는 MgO 박막의 γ 계수 측정용으로 충분한 성능을 가졌음을 알 수 있었으며 향후, 이 시스템으로 MgO 박막의 γ 계수 측정연구를 계속할 예정이다.

참고 문헌

- [1] H. R. Kaufman, "Broad-beam Ion Source : Present Status and Future Directions", J. Vac. Sci. Tech. A4, pp.764, 1986
- [2] Francis F. Chen, "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion", PLENUM PRESS, pp.190~195, 1984
- [3] Harold R. Kaufman and Raymond S. Robinson, "Operation of Broad-Beam Source", Commonwealth Scientific Corporation, pp.152~153, 1984
- [4] George R. Brewer, "Ion Propulsion Technology and Application", Gordon and Breach Science Publishers, pp.167~173, 1970
- [5] Stanley Humpheries, Jr., "Principles of Charged Particle Acceleration", JOHN WILEY & SONS, pp.121~125, 1986