

자화 플라즈마 파라메타 측정에 관한 연구

성업문[○], 이창영[○], 손제봉^{*}, 신중홍^{**}, 광영순[○], 박정후[○]
○:부산대학교 공과대학 전기공학과 *:부산전문대 **:동의대학교

A Study on the Measurement of Magneto-Plasma Parameters by Probe Method

Y.M.SUNG[○], C.Y.LEE[○], J.B.Son^{*}, J.H.SHIN^{**}, Y.S.KWAK[○], C.H.PARK[○]
○:Department of Electrical Engineering, Pusan National University
*:Pusan technical college **:Dong Eui University

Abstract

Magneto plasma has been widely used for controlled fusion and material processings such as etchings, depositions, and sputterings in the various fields.

For controlling and guaranting the equipment, precision plasma parameters must be gained.

In this experiment, using single probe and double probes, we investigated the effect of magnetic field on magneto plasma.

As a result of this experiment, we found the fact that single probe was largely affected by magnetic field for measuring magneto plasma parameters, while double probe was not.

1. 서론

플라즈마에 의한 응용 기술이 막막 제작, 에칭등의 첨단 반도체 산업 및 신소재 개발분야 등에 다양하게 적용됨에 따라 플라즈마의 발생장치 개발 및 진단 그리고 응용 기술에 대한 학문적 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾

특히, 플라즈마 진단기술은 전자온도, 밀도, 공간전위 등의 플라즈마 파라메타를 측정함으로써 플라즈마의 응용기술에 대한 기초 연구 단계에 필수적인 분야이다.

플라즈마 진단법으로 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그 중 푸루브 진단법은 측정방법과 장치가 비교적 간편하고, 일반 글로우 영역의 저온, 저밀도(수 10eV, 10¹⁴cm⁻³ 이하) 플라즈마의 진단에 적합하다.²⁾

대표적으로 Langmuir 등에 의해 연구된 single 푸루브법과 double 푸루브법이 있다. 이론적으로는 비교적 잘 정립되어 있으나,²⁾ 실제 실험에 있어서 측정 결과에 영향을 미치는 여러가지 고려사항들에 대한 연구는 현재에도 계속 진행되고 있다.

특히, 플라즈마 응용기술에는 플라즈마의 발생, 유지 및 운전 등을 위해 대부분 자계를 필요로 하므로 실제 푸루브 진단에서는 자계의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 보고에 의하면, 자화 플라즈마에서 single 푸루브에 의한 진단에는 자계의 영향이 매우 크고, double 푸루브법이 비교적 정확하다고 알려져 있다.³⁾

본 실험에서는 single 푸루브와 double 푸루브를 비교 측정하여 Langmuir 푸루브 이론에 의한 플라즈마 파라메타 측정시 자계가 미치는 영향을 고찰하고자 했다.

2. 실험 및 고찰

자화 플라즈마를 형성하기 위해, 진공조 내부에 직경 5cm, 간극 5cm의 원판형 평행 평판 전극을 황동으로 제작하여 직류 전원(1000V, 2A)에 연결하였고, 전극면에 수직인 자계를 인가할 수 있도록 진공조 외부에 코일을 감아 전극 중심부에 최대 1 KGauss 까지 인가할 수 있도록 하였다.

진단에 사용한 푸루브는 single 푸루브인 경우 면적 1mmx1mm, 두께 0.1mm의 얇은 평판형으로 푸루브면과 자계축과의 각도 변화를 주기 위해 회전이 가능하도록 하였고, double 푸루브는 직경 1-3mm, 길이 1-3mm,의 원통형이며, 재질은 모두 백금 이다.

동일한 조건에서의 single 푸루브와 double 푸루브의 비교 측정에는 시간적, 공간적 조건을 동시에 만족할 수 없으므로, 본 실험에서는 구조상 두개의 푸루브를 전극 중심부에서 대칭적으로 서로 같은 위치에 고정시켜 두면 전자계 분포적으로 동일한 공간적 조건을 만족한다고 보고 동시 측정을 하였다.

그림 1.은 방전 전류가 8 mA 로 일정하고 자계값이 다룰때 single 푸루브와 double 푸루브 측정에 의한 플라즈마 밀도 및 전자 온도 특성을 나타내고 있다.

플라즈마 밀도는 double probe 의 경우 자계의 상관없이 대체로 일정하나, single 은 자계 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히, single 푸루브에서는 푸루브 면과 자계와의 각도에 따른 특성도 나타나고 있는데, 대체로 푸루브 면과 자계가 나란할때 보다 수직일때가 밀도가 크게 나타나고 있다. 전자온도의 경우를 보면 큰 차이는 없으나, 대체로 single 보다 double 일때 전자온도가 크게 측정되고 있다. 그리고 자계가 증가하면 전자온도는 대부분 증가하게 됨을 알 수 있다.

이와같이 자계 하에서 single 푸루브와 double의 측정값에 차이가 나는것은 double 푸루브가 비교적 자계의 영향을 덜 받는 이온 전류를 측정 기준으로 삼는데 비해, single 푸루브는 자계에 민감한 전자전류를 측정대상으로 하는데서 기인한다고 볼 수 있다.

Langmuir 푸루브 이론에 의하면 플라즈마내에 푸루브를 삽입하면 대개 플라즈마 공간전위 이하에서는 루브 표면에 이온 sheath 가 형성되고, 이 sheath 내로 열 운동 확산에 의한 전자 및 이온전류가 들어오게 되는 데, 전자전류를 측정하는 single 푸루브의 경우 그림 4.5에 나타난 바와 같이 열운동 확산에 의해 sheath 내로 유입되는 전자 전류량이 자계가 증가함에 따라 자계 수직 방향으로의 이동에 제한을 받아 점점 감소하게 된다. 또 그림 4.5 에서 알 수 있듯이, single 푸루브로 플라즈마 파라메타를 측정할때 자계와 푸루브 면의 방향에 따라서도 상당한 영향을 미침을 알 수 있다. 측정시 푸루브 면이 자계와 나란할때는 그만큼 자계의 영향을 많이 받게 되므로 측정값이 작게 나타나고, 푸루브 면을 자계와 수직으로 하면 비교적 자계의 영향을 덜 받아 double 푸루브에 의한 측정값에 접근함을 알 수 있다.

한편, 전자의 회전 반경이 푸루브 크기보다 비교적 크다고 볼 수 있는 수 10 gauss 이하의 자계에서는 자계 영향이 무시되므로 single 푸루브와 double 푸루브의 측정값이 대략 비슷했다. 본 실험 조건에서 자계에 의한 전자의 회전반경을 간단히 구해보면 4)

$$r_{ce} = \sqrt{2} \frac{\omega_{pe}}{\omega_{ce}} \lambda_d$$

$$= 2.9 \times \frac{\sqrt{T_e(\text{eV})}}{B(\text{G})} \quad [\text{cm}]$$

측정된 전자 온도가 대략 4eV 정도이므로, 80 gauss 이하에서 회전 반경은 대략 0.8 mm 이상 이고, 100 gauss 그 이상에서는 0.1 mm 이하이므로 푸루브 길이가 1mm 정도에서는 대략 80 gauss 이하에서 자계 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그림 4.5의 I-V 특성곡선을 보면 자계 영향의 유, 무에 따라 floating 전위의 차이가 나는데 자계의 영향을 받게 되면 푸루브 전류가 zero 로되는 floating 전위가 더욱 음의 값을 갖는다.

그림 2.는 전계와 자계가 30°의 각도로 기울어져 있을때의 single 및 double 푸루브의 측정 결과이다. 대체로 그림 1의 결과와 마찬가지로 double 푸루브에 비하여 single 푸루브가 자계의 영향을 받아 파라메타값의 변화가 크게 나타났다. 전자 온도 값은 자계 증가에 따라 대체로 증가한다. 이것으로 보아 대부분의 자화 플라즈마에서 single 푸루브법에 의한 플라즈마 진단에는 자계가 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

그림 3.은 방전전류가 변화할때 single 및 double 푸루브의 측정 결과이다. double 푸루브에 의한 측정값들은 자계의 영향없이 방전전류에 비례하고 있으나, single 푸루브의 경우에는 고자계로 갈 수록 자계 영향으로 측정값이 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 4 와 5 그리고 표 1 은 실제 측정시의 I-V 특성곡선 및 측정치들이다. 앞에서와 마찬가지로 single 푸루브법의 자계 영향을 잘 알 수 있다.

3. 결론

평판형 single 푸루브 및 원통형 double 푸루브에 의해 E||B인 자화 플라즈마의 플라즈마 밀도(N_0) 전자온도(T_e) 등에 대한 이상의 측정결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자계의 범위가 0-80 G 정도로 전자의 라모아 반경이 큰 저자계 영역에서는 single 및 double 푸루브법에 의한 N_0 및 T_e 의 측정값은 single 푸루브면의 배향에 관계없이 동일한 결과를 얻을 수 있다.
2. 방전전류가 일정한 조건 하에서 80G 이상 고자계로 하면
 - a) double 푸루브의 경우는 N_0 가 거의 일정하고 T_e 는 증가한다.
 - b) single 푸루브의 경우 N_0 는 감소하고 T_e 증가. N_0 의 감소율은 자계가 증가할 수록 커진다.
 - c) 자계 영향을 보정하는 방법으로 본 실험에서는 다음과 같이 구할 수 있었다. single 푸루브에 의해 구한 밀도값을 A 라 하면

$$\text{밀도} \approx A \times \left(1 + \frac{\text{자계}(G)}{500}\right)$$
3. 평판형 single 푸루브의 면과 자기력선과의 사이각을 변화시켰을 경우
 - a) 사이각이 증가할 수록 N_0 증가, T_e 감소한다.
 - b) 면과 자기력선이 90° 일때 double 푸루브의 결과에 접근한다.
4. E B 가 평행이 아닐때 single 및 double 푸루브로 측정된 N_0 및 T_e 값은 방전전류가 일정한 조건하에서 double 푸루브는 자계와 관계없이 N_0 가 일정하고 T_e 는 자계가 증가하면 증가한다. single 푸루브 경우 자계 증가하면 N_0 감소하고 T_e 는 대체로 증가하나 푸루브면의 각도 변화에 따른 전자온도 값은 일정한 경향을 보이지 않는다.

참고 문헌

1. Stephen M. Rossnagel et al Ed., " Handbook of Plasma Processing Technology ", NP, 1990.
2. I.H. Hutchinson, " Principles of plasma diagnostics ", Cambridge University Press, 1987.
3. F.W. Crawford et al, J. Appl. Phys., Vol 34, P 34, 1963.
4. Francis F. Chen, " Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion ", Plenum Press,

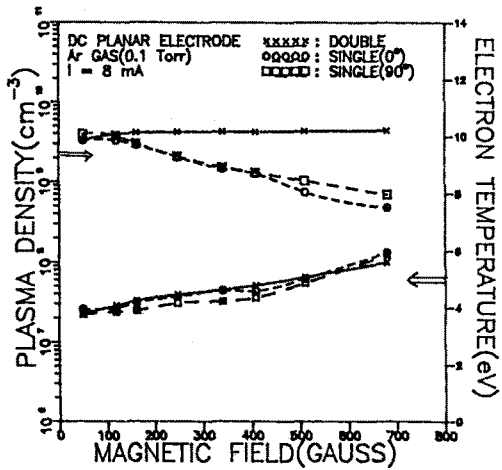


그림1. 일정 방전전류 하에서 푸루브 진단 특성(E || B)

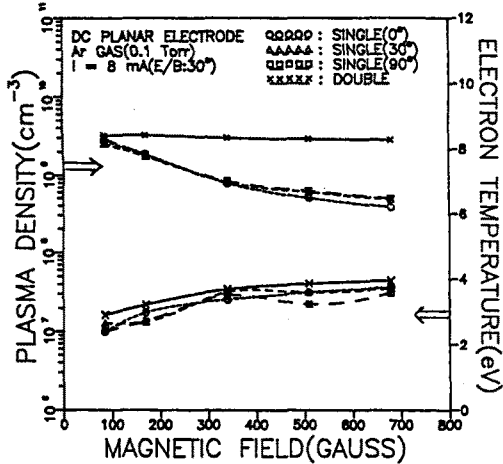


그림2. 일정 방전전류 하에서 푸루브 진단 특성 (E/B 30°)

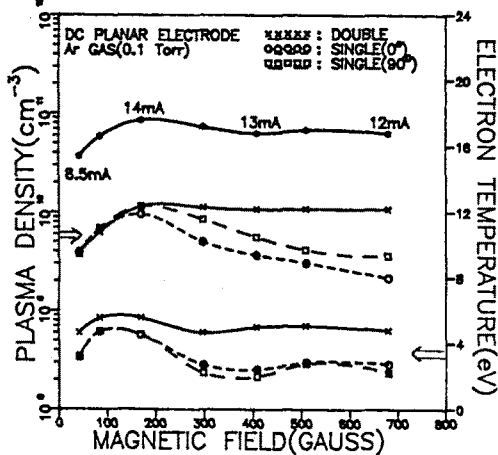


그림3. 방전전류 변화시 푸루브 진단 특성

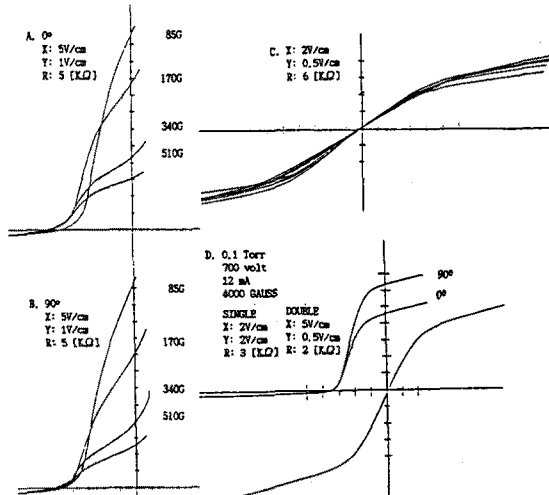


그림4. single 및 double 푸루브의 I - V 특성 곡선(E || B)

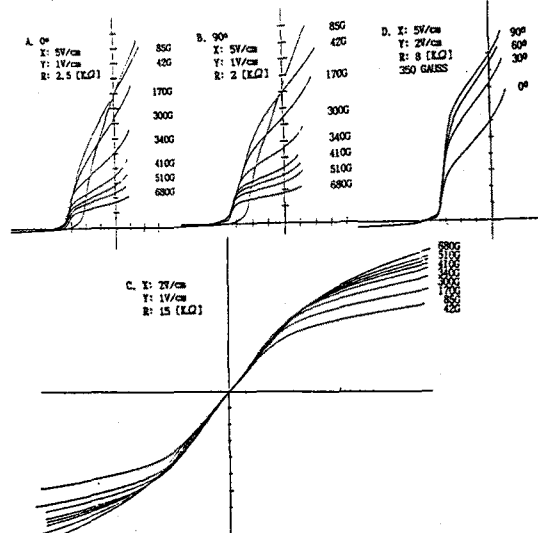


그림5. single 및 double 푸루브의 I - V 특성 곡선(E/B 30°)

조건		PLANAR DIODE SYSTEM (Ar) Pressure : 0.1 Torr					
single probe (평면형)	double probe (원통형)	O : 평면 probe면과 지게사이 각 E 외 B는 병행					
지게 방전 전류 [μA]	밀 도 [10 ¹⁰ /cm ³]	전 자 온 도 [eV]					
[gauss]	[mA]	Single 0°	Single 90°	Double	Single 0°	Single 90°	double
42.5	8.5	3.91	3.73	3.82	3.19	3.24	4.68
85	11.5	6.76	6.93	6.27	4.75	4.75	5.57
170	14	9.62	11.5	11.6	4.55	4.55	5.58
297.5	13	5.03	8.55	11.3	2.72	2.23	4.69
408	12	3.66	5.58	10.8	2.44	2.00	5.03
510	12.5	3.04	4.10	10.9	2.87	2.78	5.09
680	12	2.14	3.57	10.8	2.75	2.22	4.82

표 1. 푸루브 측정에 의한 플라즈마 파라미터값(Ne, Te)