

2005년도 한국물리학회 가을 학술논문발표회  
10. 21 - 10. 22  
전북대학교

# **Effect of Magnetic Field Configuration on ECR Plasma Characteristics and Ion Beam Current**

**W. C. Lee, J. M. Yang, S. I. Moon, Y. S. Bae,  
M. H. Cho and W. Namkung (POSTECH)**

**\* Work supported by KSTAR project and MOST**

# Abstract

- ECR 이온 소스에 두 개의 솔레노이드 자석으로 세 가지의 자기장 조건을 만들어 챔버 내부에 공명 자기장의 위치를 변화시켰다. 원통형 랑뮤어 탐침을 이용하여 축 방향의 플라즈마 특성 분포를 조사한 결과 세 자기장 조건 모두 전자온도, 플라즈마 밀도, 플라즈마 전압이 공명 자기장이 위치하는 곳에서 높게 나타났다. 2.45 GHz ECR 이온 소스에서 만들어지는 플라즈마는 1000 G 정도의 강한 자기장으로 인해서 플라즈마 흐름(plasma drift)이 발생한다. 평면 랑뮤어 탐침을 이용하여 radial 방향에서 플라즈마 흐름의 영향을 조사하였는데 부유전압을 제외하고 플라즈마의 흐름이 플라즈마 파라미터의 값을 높이는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 플라즈마의 흐름이 주로 전자에 의한 것으로 부유전압이 낮게 나오는 현상도 설명이 된다. 빔 전류의 크기는 공명 자기장이 전극에 가까이 위치하여 플라즈마 밀도가 높은 조건에서 크게 측정되었다. OES와 모터로 작동하는 탐침을 이용하여 빔 에너지와 전류밀도 분포도 측정해 보았다.

# Schematic of ECR Ion Source

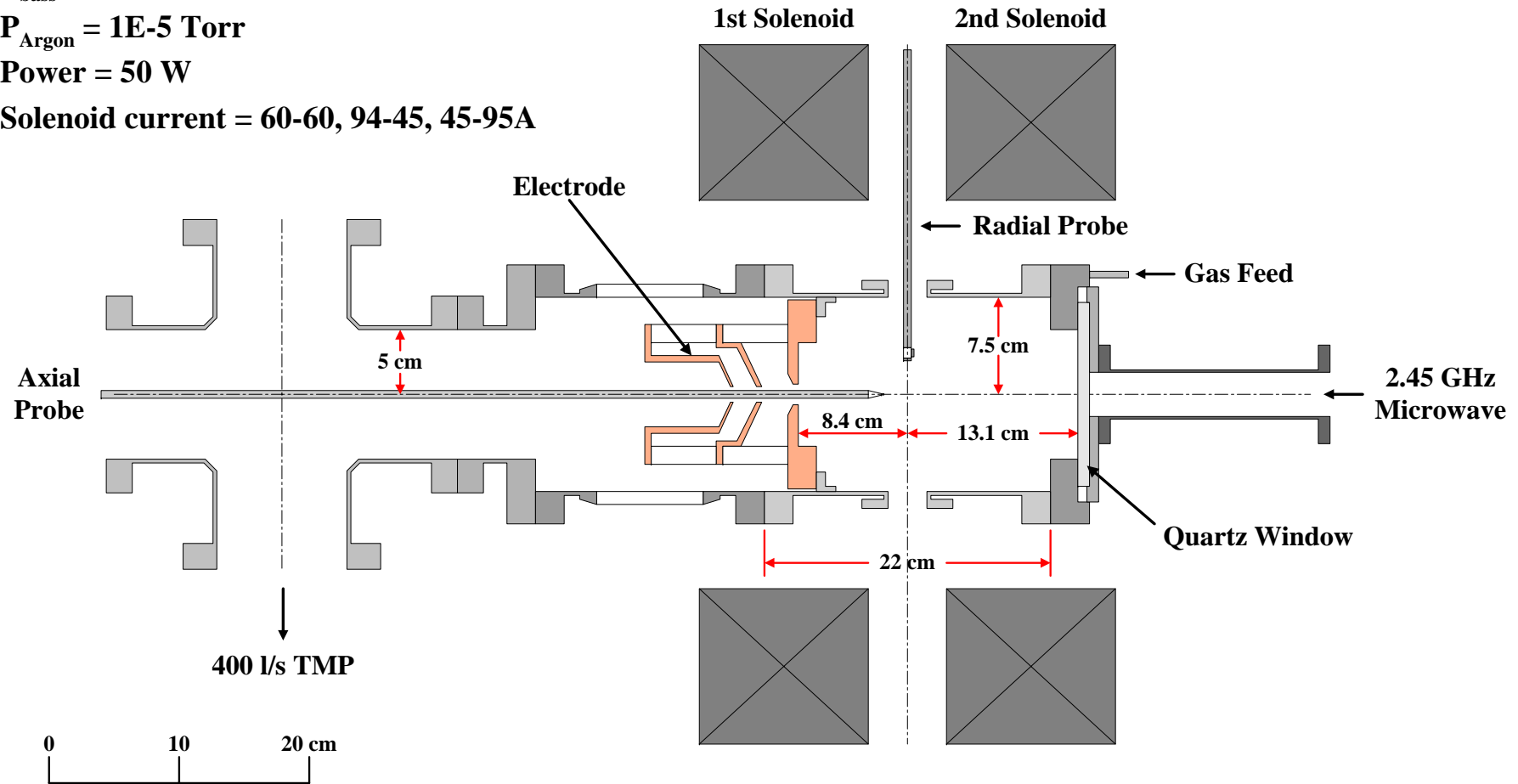
• **Operation Condition**

$P_{\text{bass}} = 1\text{E-}7$  Torr

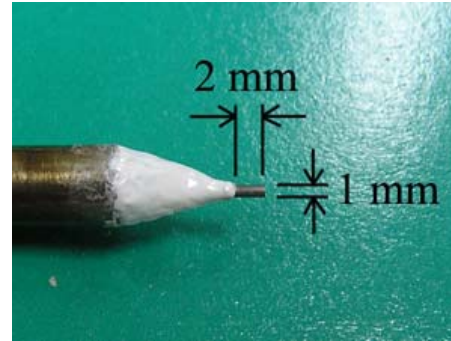
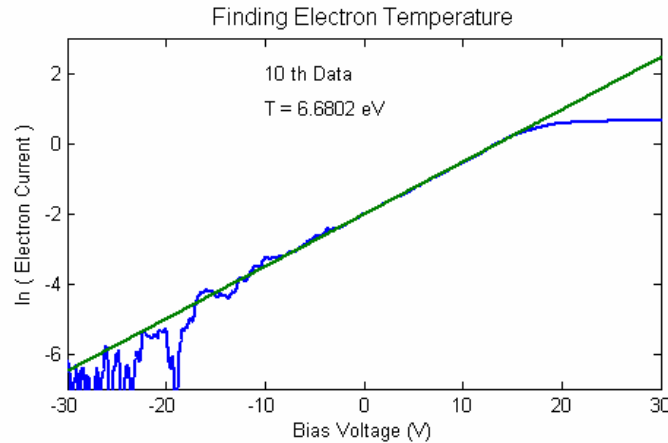
$P_{\text{Argon}} = 1\text{E-}5$  Torr

Power = 50 W

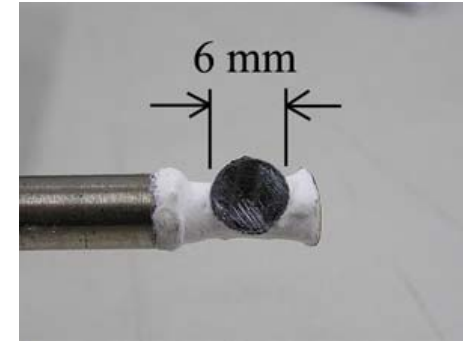
Solenoid current = 60-60, 94-45, 45-95A



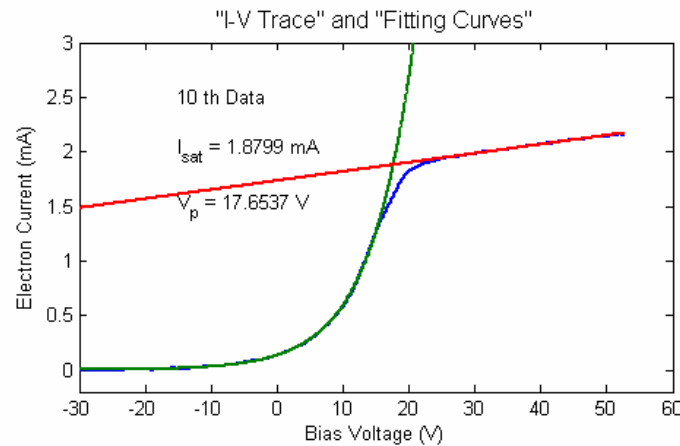
# I-V Trace Analysis [1]



Axial probe



Radial probe


**60-60A, Z=0cm axial probe data**

$$I_e = I_e^* \exp\left[\frac{e(V_b - V_p)}{T_e}\right], \quad (V_b \leq V_p)$$

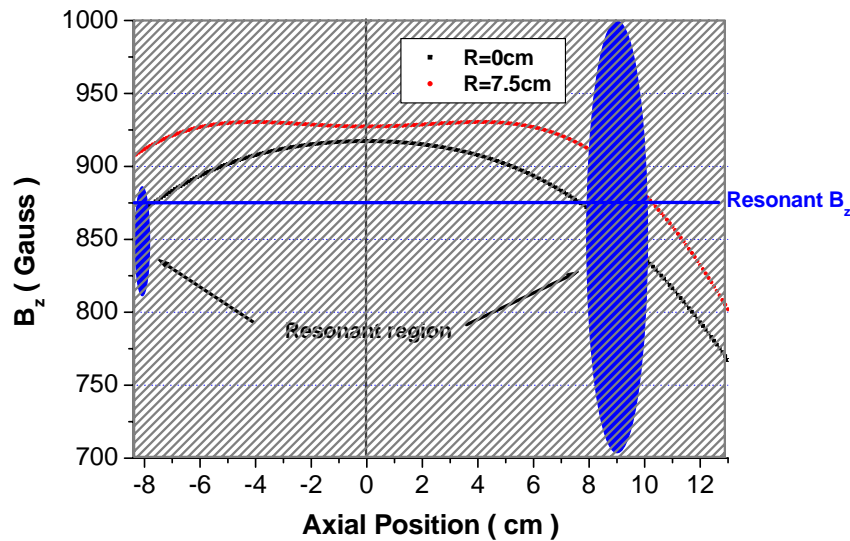
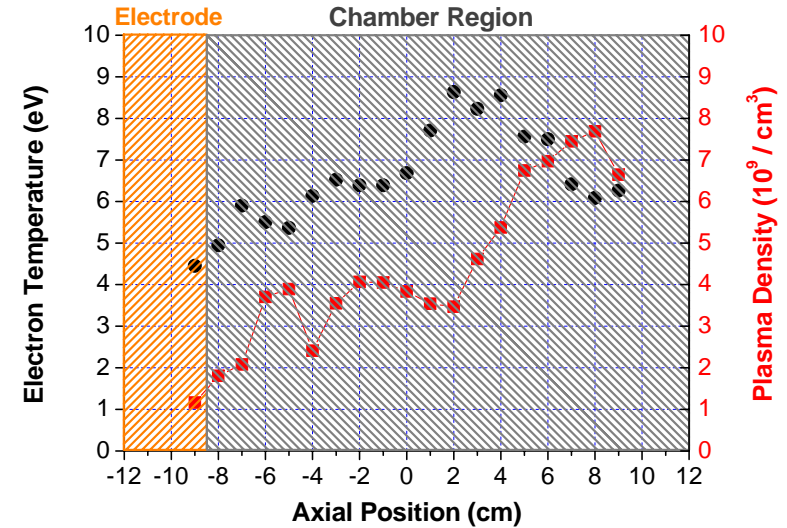
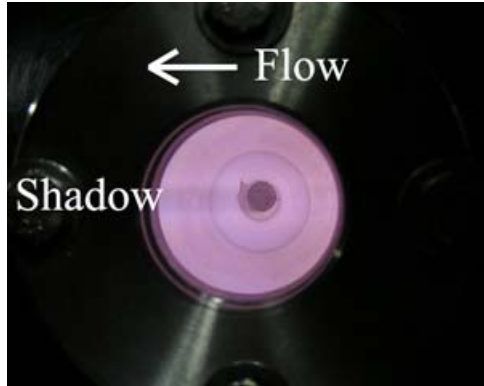
$$\Rightarrow T_e = \frac{e(V_b - V_p)}{\ln(I_e) - \ln(I_e^*)}$$

$$I_e = I_e^* = S n_e e \sqrt{\frac{T_e}{2\pi m_e}}, \quad (V_b > V_p)$$

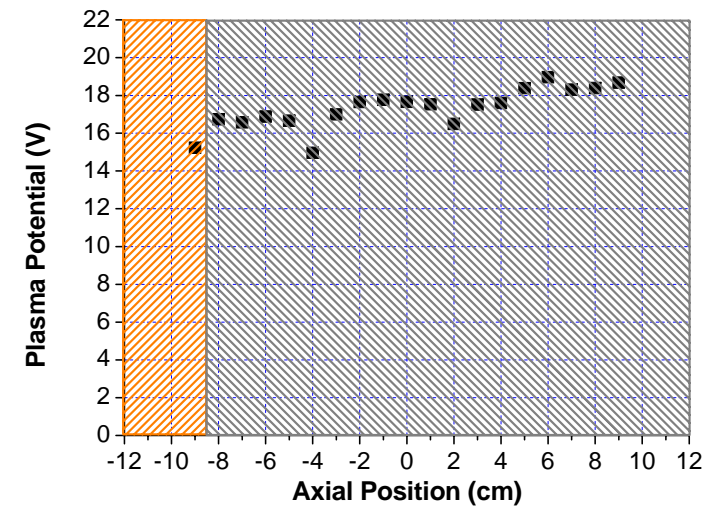
$$\Rightarrow n_e = \frac{I_e^*}{eS} \sqrt{\frac{2\pi m_e}{T_e}}$$

[1] N. Hershkowitz, "How Langmuir Probe Work" in *Plasma diagnostics*, O. Auciello, D. L. Flamm (Academic Press, Inc. 1989), Vol. 1, Chapter3.

# Symmetric magnetic field (60–60 A)

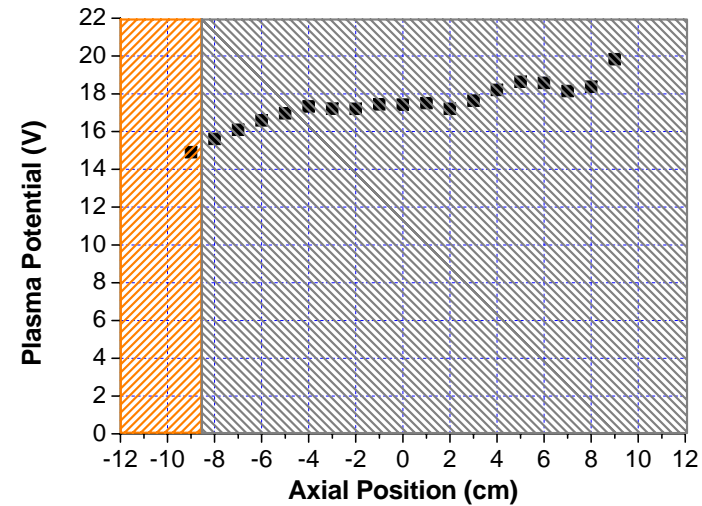
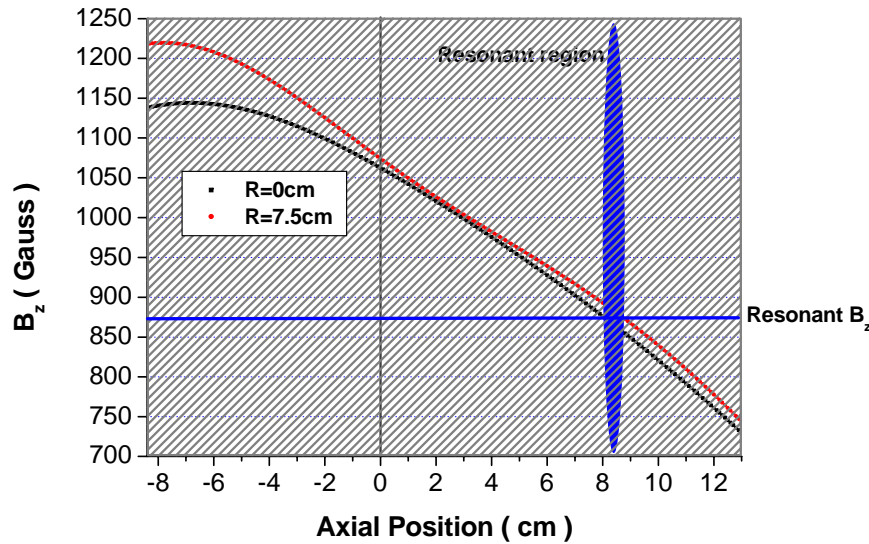
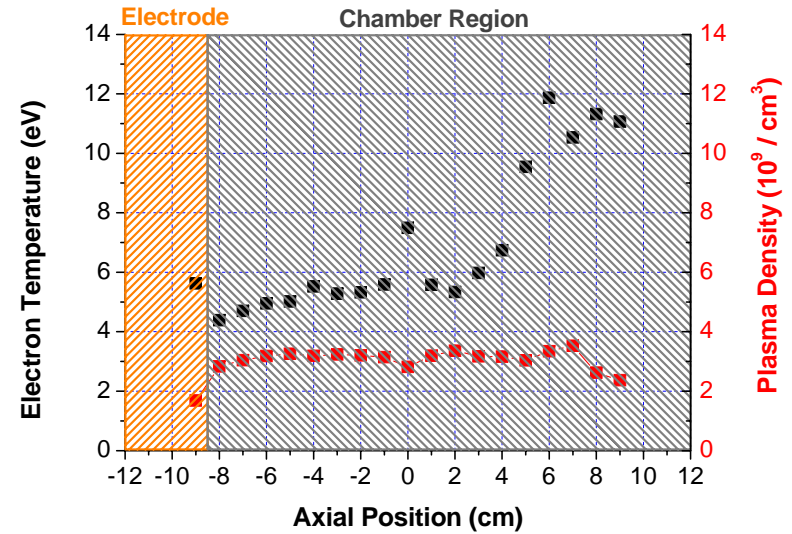
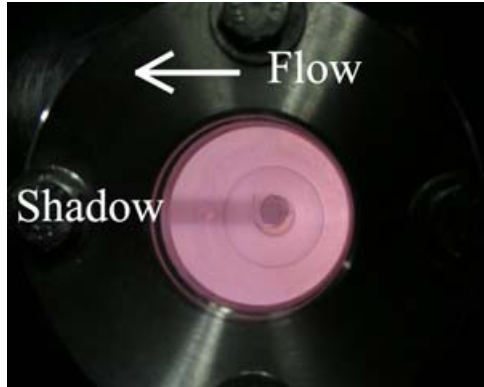


Simulated axial magnetic field at 60-60A



Axial distribution of plasma parameters

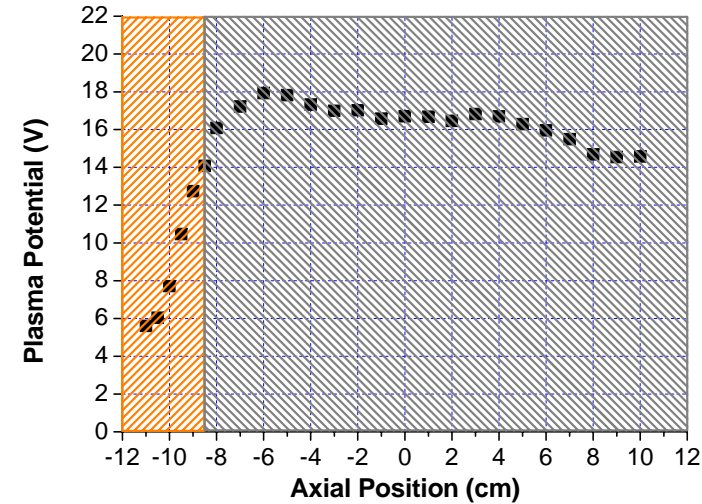
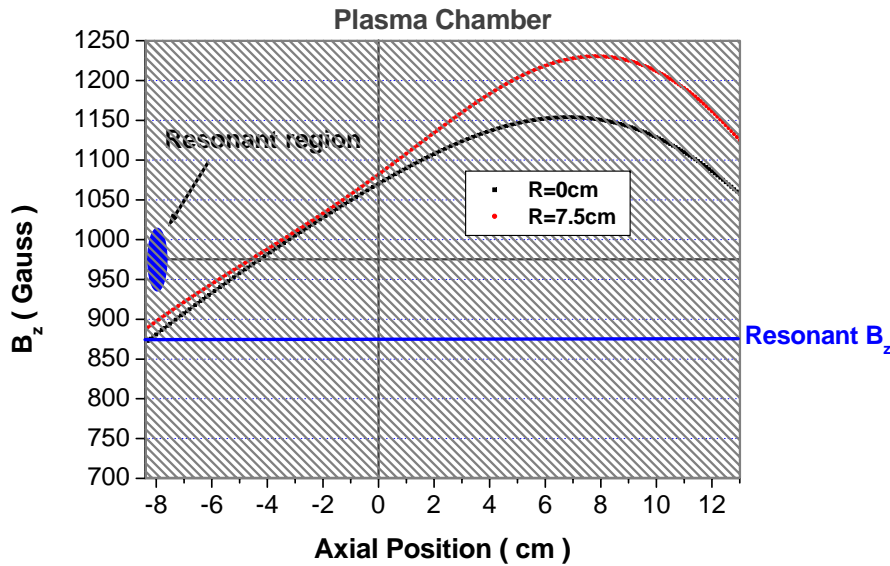
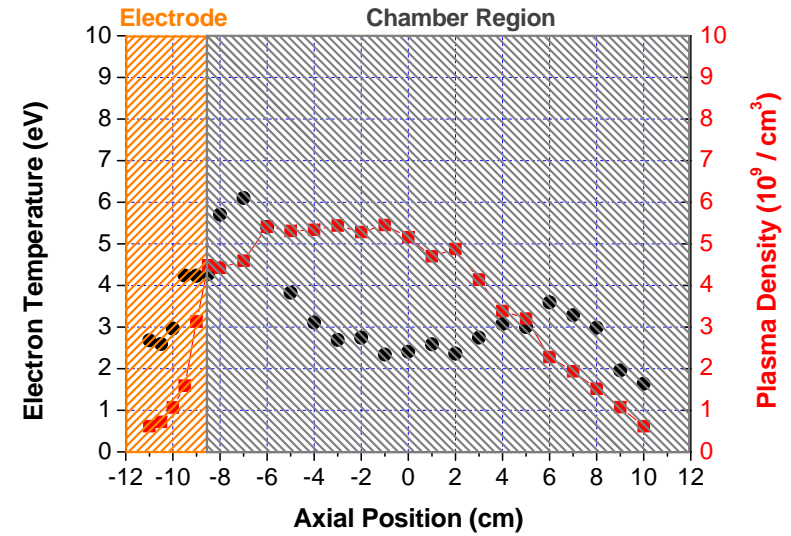
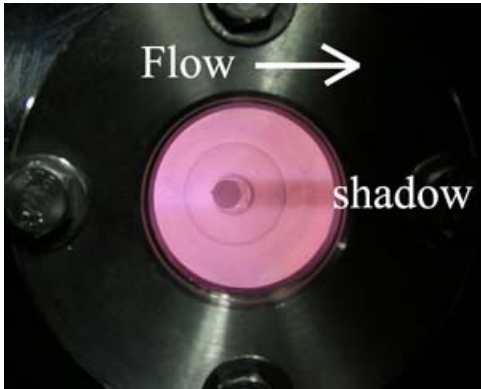
# Asymmetric magnetic field 1 (94-45 A)



Simulated axial magnetic field at 94-45A

Axial distribution of plasma parameters

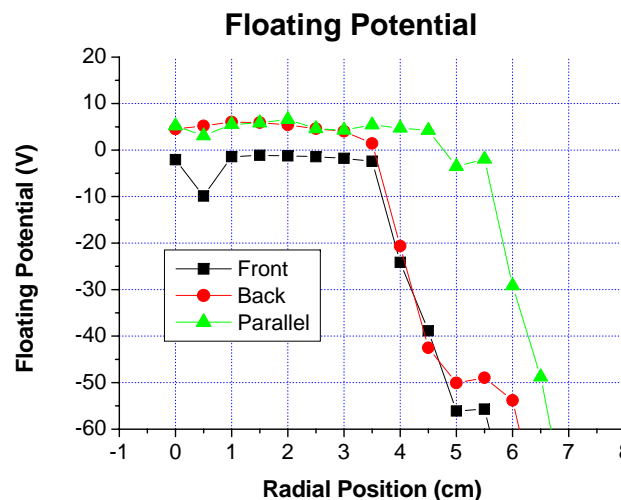
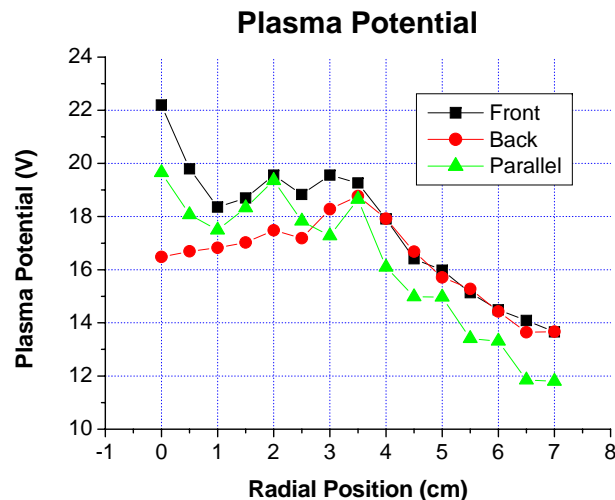
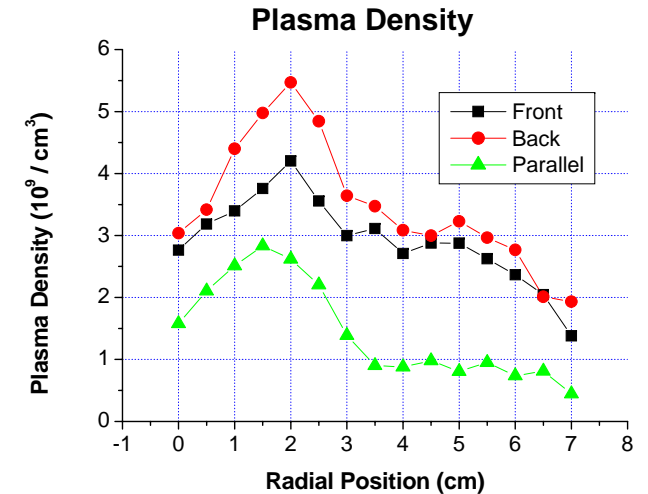
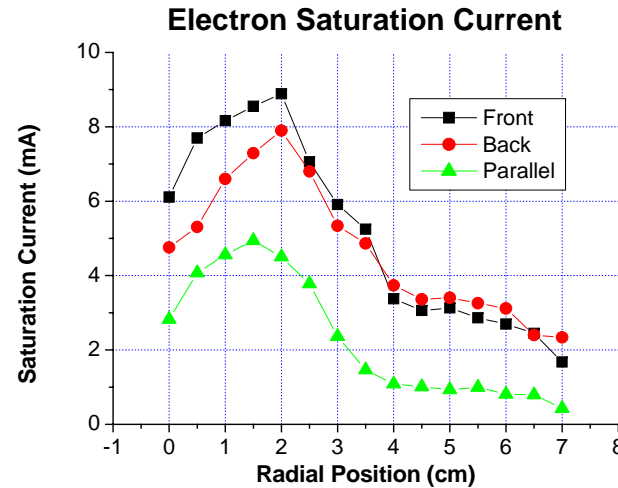
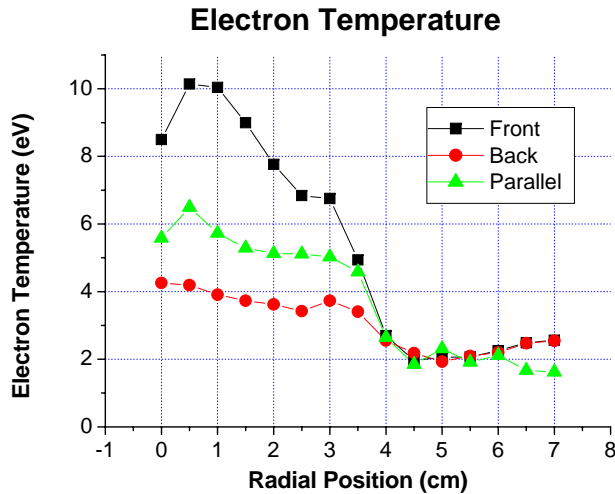
# Asymmetric magnetic field 2 (45–95 A)



Simulated axial magnetic field at 45-95A

Axial distribution of plasma parameters

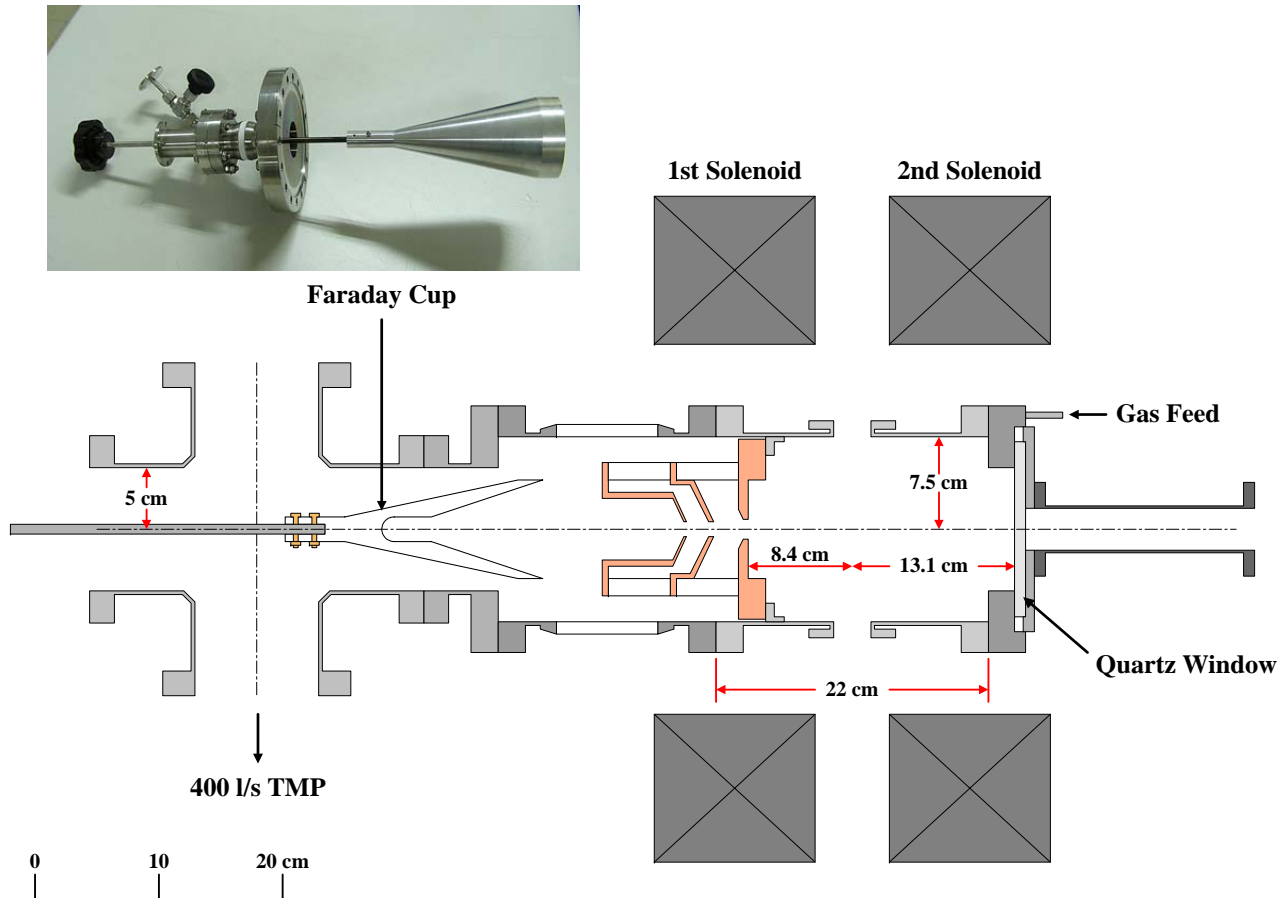
# Drift Effect on Plasma Parameters ( $Z=0, 45-95A$ )



**Electron drift makes plasma parameters (Electron Temperature, saturation current, plasma density and plasma potential) high but floating potential.**



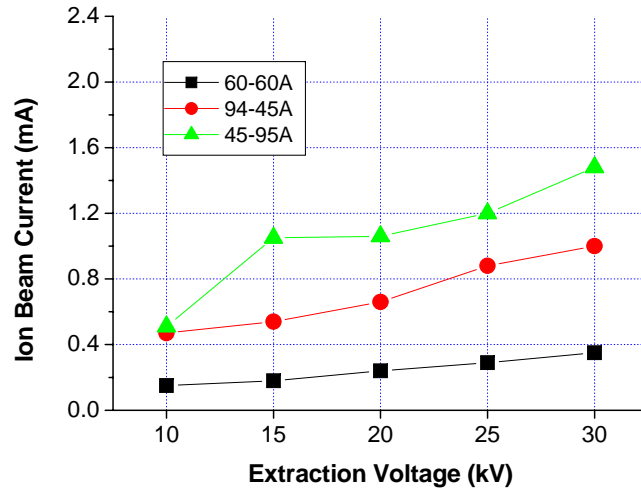
# Ion Beam Current Measurement



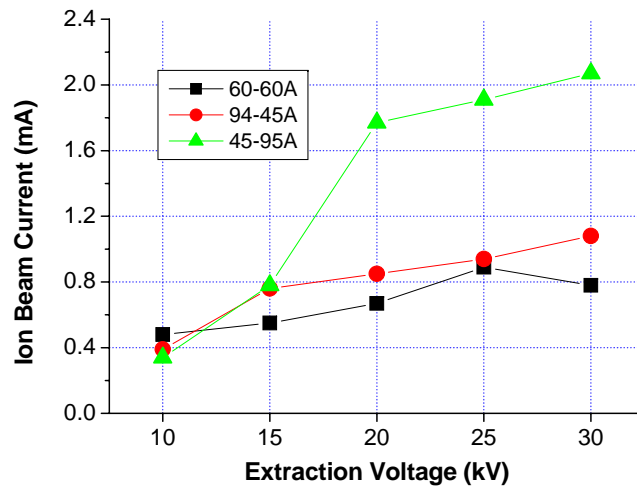
## Operation Condition

- $P_{\text{bass}} = 1\text{E-}7$  Torr
- $P_{\text{gas}} = 1\text{E-}5$  Torr
- Gas = Argon
- Power = 50 , 300 W
- Extraction Voltage =  
10 – 30 kV
- Solenoid current =  
60-60 A, 94-45 A,  
45-95 A

# Magnetic Field Dependence on Argon Beam Current



Microwave power = 50 W



Microwave power = 300 W

$$I_{beam} = en_{pre}v_B A \approx 0.6en_p \sqrt{\frac{eT_e}{M_{Ar}}} A$$

	60-60A	94-45A	45-95A
Plasma density ( $10^9 / \text{cm}^3$ )	1.8	2.8	4.4
Electron Temperature (eV)	4.9	4.4	5.7
Bohm velocity (cm/s)	3.42E+5	3.24E+5	3.69E+5
Electrode aperture area ( $\text{cm}^2$ )	2.01 (8 mm radius)		
Beam current (mA)	0.12	0.18	0.31

Calculated beam current at power = 50W

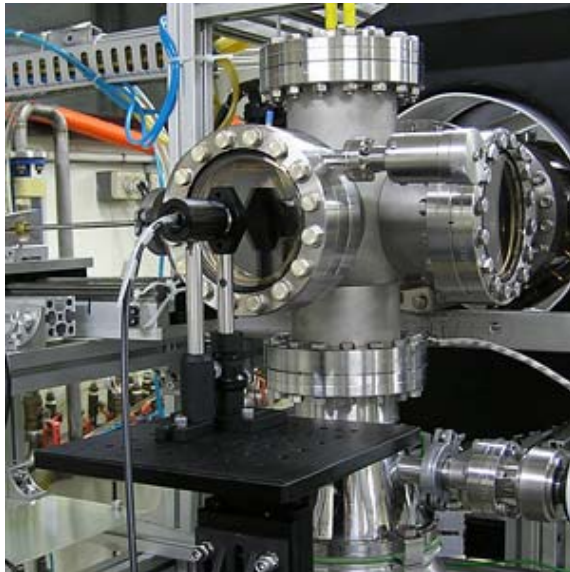
# Beam Energy Measurement by OES

- Beam energy by Doppler Effect:

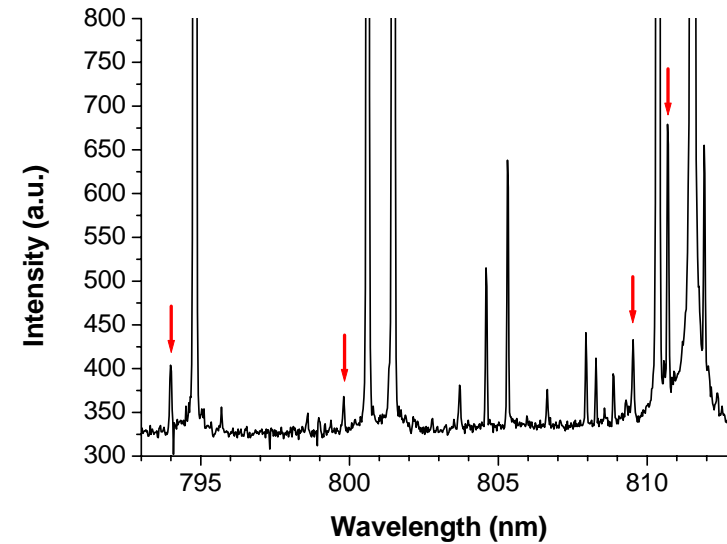
$$\nu = \nu_0 \frac{1}{1 - u/c} \Rightarrow \lambda = \lambda_0 (1 - u/c)$$

$$\Delta\lambda = -\lambda_0 \frac{u}{c} \Rightarrow u = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$$

$$E (eV) = \frac{1}{2} M_{Ar} u^2 = \frac{1}{2} M_{Ar} \left( \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c \right)^2$$



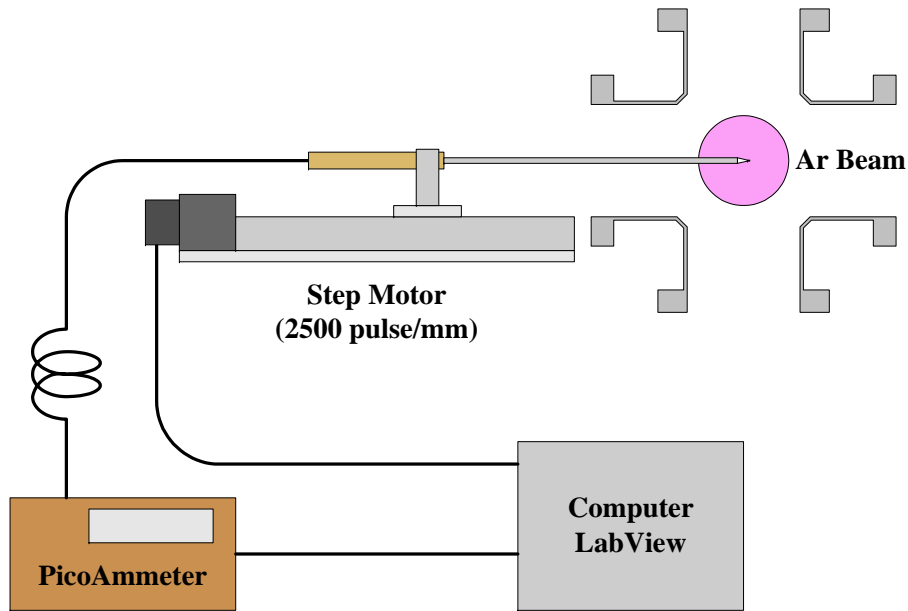
(Left)  
Setup of beam  
spectrum  
measurement



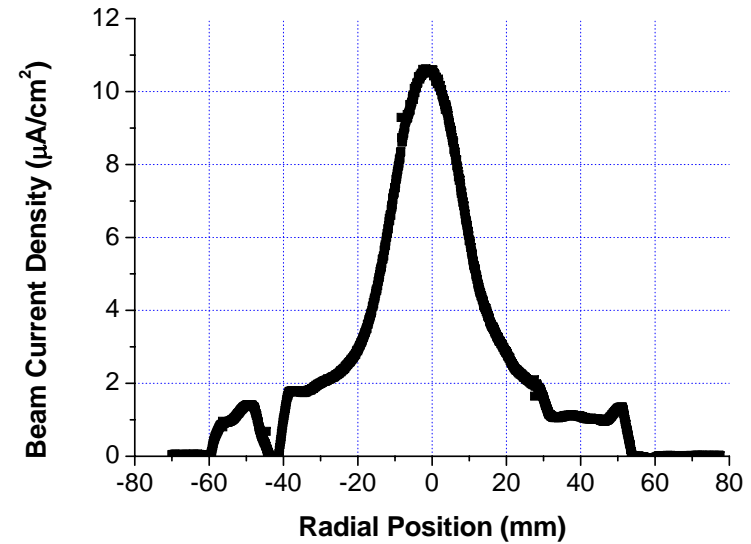
(Up) Ar beam spectrum and shifted line at 20kV

Extraction voltage (kV)	Line shift (nm)	Beam energy (keV)
5	0.391	4.93
10	0.538	9.33
15	0.66	14.04
20	0.782	19.71
25	0.855	23.56

# Beam Density Profile Measurement

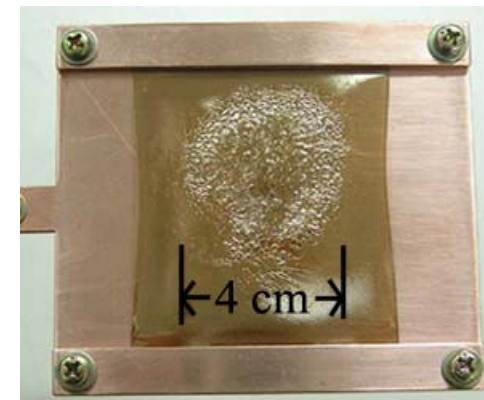


Setup of beam density measurement



(Up) 20kV Ar beam current density profile

(Right) Ar beam implanted PET film



# Conclusion

- 두 개의 솔레노이드 자석으로 플라즈마 챔버 내부에 공명 자기장의 위치를 변화시키면서 원통형 램류어 탐침을 이용하여 플라즈마 특성의 축 방향 분포를 조사하였다. 두 솔레노이드 전류가 60-60, 94-45, 45-95 A인 세 조건에서 실험을 하였는데 세 조건 모두 공명 자기장이 위치하는 곳에서 전자 온도, 플라즈마 밀도, 플라즈마 전압이 높게 나타났다.
- 평판 램류어 탐침을 챔버의 옆으로 삽입하여 플라즈마 흐름의 영향을 조사하였다. Radial 위치를 변화시키면서 플라즈마의 흐름을 마주보는 방향, 반대 방향, 흐름과 평행한 방향의 세 방향에서 각각 I-V 곡선을 얻었다. 부유전압을 제외하고 플라즈마 흐름을 마주보는 방향에서 특성들이 높게 측정되었는데 플라즈마의 흐름이 주로 전자에 의한 것임을 확인할 수 있었다. 플라즈마 특성에 미치는 전자의 흐름의 효과에 대한 보다 정확한 연구와 실험이 요구된다.
- 아르곤 이온 빔을 위 세 자기장 조건에서 10-30 kV의 전압으로 인출하여 패러데이 컵으로 전류를 측정하였다. 공명 자기장이 전극 주위에 형성되어 플라즈마의 밀도가 가장 높은 45-95A에서 빔 전류가 가장 크게 측정되었고 300W-30kV에서 가장 높은 2.1mA가 나왔다.
- 분광법(Optical emission spectroscopy)을 이용하여 아르곤 빔 에너지를 측정해 보았고, 탐침을 모터로 작동하면서 빔 전류밀도의 radial 분포를 측정해 보았다.