

와이어 · 이온 · 플라즈마원의 방전 특성

고 광 철, 堀田 榮喜\*

한양대 전자전기공학부, \*동경공업대학 창조에너지과

Discharge Characteristics of Wire Ion Plasma Source

Kwang-Cheol Ko, Eiki Hotta\*

Hanyang University, \*Tokyo Institute of Technology

**Abstract** - WIPS is a plasma device which has a wire anode, a coaxially-set cylindrical cathode, and aperture electrodes located in both ends of the cylinder. This electrode configuration forces the potential between the anode and the cathode to change logarithmically with radial direction. Since electrons are confined this logarithmic potential, the high-density plasma is produced even at a rather low anode voltage. In this paper we investigate characteristics of dc and pulse discharges, in which

전압으로 방전을 개시할 수 있고, 비교적 간단하게 고반복 펄스 이온원으로 이용할 수 있다. 이온원의 축방향 길이는 와이어양극 재료의 장력에 의존하지만, 길이를 임의로 조정할 수 있으므로, 축방향으로 긴 이온원을 구성할 수 있다.

본 논문에서는 WIPS의 직류방전과 펄스방전의 기본적인 특성에 대해 설명한다.

1. 서 론

2. 실험장치

와이어 · 이온 · 플라즈마원(WIPS)의 개략도를 그림1에 나타낸다. WIPS는 양극으로써 와이어를 사용하며, 양극과 동축인 원통형 음극으로 구성된 플라즈마 발생기이다. WIPS에서는 와이어 양극을 사용하므로 대수퍼텐셜에 의해 전자가 밀폐되어 낮은 전압으로 쉽게 고밀도 플라즈마를 얻을 수 있다. 대수퍼텐셜은 Kingdon Trap[1,2]에 있어서, 이온을 포획하는데 이용되며, 밀폐된 입자가 무충돌일 경우에 대한 궤도 계산도 수행되었다[3].

실험에 사용한 방전관의 개략도를 그림2에 나타낸다. 양극으로 사용하는 와이어전극으로는 특성을 비교하기 위해 직경 0.2mm, 0.4mm 혹은 0.7mm의 텅스텐선을 사용한다. 원통형 음극은 진공용기를 결합하고 있으며 내경 60mm의 스테인레스이다. 방전관의 양끝에는 스테인레스의 구멍전극을 설치하며, 그것의 간격은 50, 100, 300mm이다. 또 구멍전극의 구경은 20mm 혹은 30mm의 것을 사용한다. 터보분자펌프를 사용하여 WIPS 방전관의 진공도는  $10^{-5}$ Torr 정도에 도달한다. 사용한 기체는 헬륨이며, 기압은 리크밸브로 조절한다.

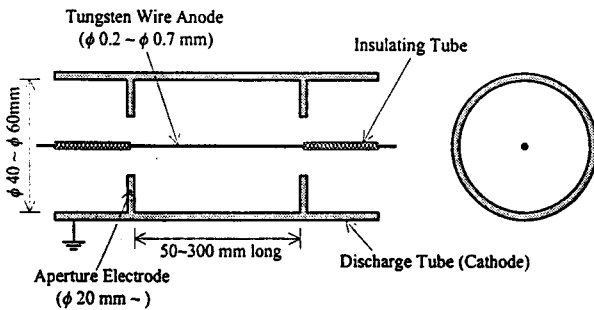


Fig.1 Schematic diagram of WIPS

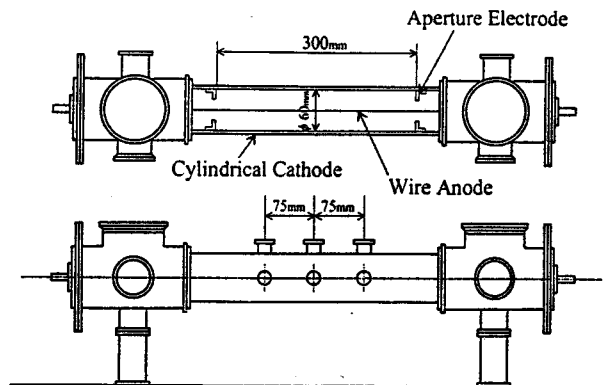


Fig.2 Diagram of discharge tube

또한 방전관의 양끝에 구멍(aperture)전극을 설치함으로써 전자의 밀폐를 개선할 수 있으므로, 낮은

3. 실험 및 결과

### 3.1 직류방전의 기본적 특성

직류전원을 사용하여 양극전압의 시간적인 변화의 전형적인 파형을 그림3에 나타낸다. 그림에서 방전은 (A)점에서 개시하며, 이 때의 양극전압을 방전개시전압  $V_B$ 로 한다. 직류전원과 WIPS 사이에 넣는 저항의 값이 100k $\Omega$ 일 경우, 방전 개시후 바로 양극전압은 떨어지는데, 이 때의 양극전압을 방전 유지전압  $V_S$ 로 한다. 또한 전원전압이 상승하여 방전전류가 상승해도 양극전압은 거의  $V_S$ 로 유지된다. 양극전압이  $V_S$ 인 동안에 방전은 양극을 따라 일부에 국부적으로 강한 발광을 하며, 방전전류를 늘리면 발광 부분이 확대되므로 글로방전이라고 할 수 있다. 실험에서는 와이어전극의 직경과 구멍전극의 구경을 변화시켜, 기압에 대한  $V_B$  및  $V_S$ 의 변화를 측정한다.

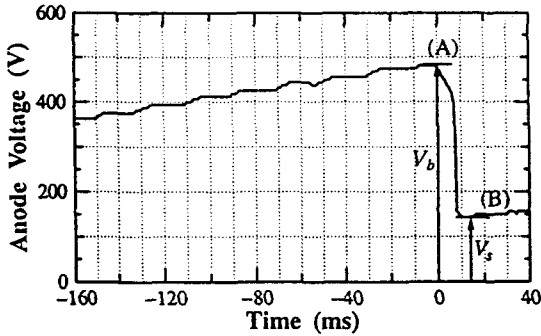


Fig.3 Typical anode voltage waveform

#### 3.1.1 구멍전극 구경의 영향

구멍전극의 구경을 매개변수로 하여 측정된  $V_B$  및  $V_S$ 의 결과를 그림4에 나타낸다. 기압이 낮은 경우에는 방전개시전압은 구멍전극의 구경이 작을수록 낮아진다. 이것은 기압이 낮은 경우에 전자와 중성자 사이의 충돌주파수가 작으므로, 구멍전극 근방의 축방향 전계에 의한 전자의 밀폐가 효과적이기 때문이라고 생각된다.

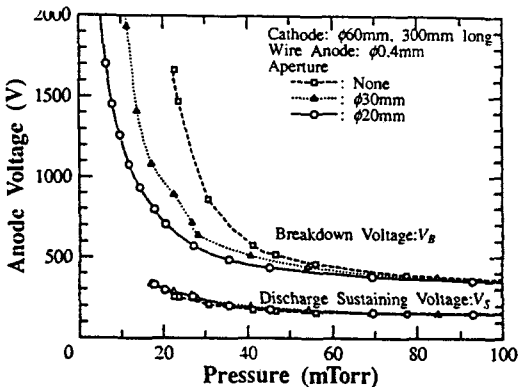


Fig.4  $V_B$ ,  $V_S$  dependences on gas pressure with aperture diameter

#### 3.1.2 와이어전극 직경의 영향

와이어전극의 직경을 매개변수로 하여 측정된 방전개시전압의 결과를 그림5에 나타낸다. 이 경우 구멍전극은 설치하지 않는다. 양극의 직경이 작을수록  $V_B$ 는 낮으며, 특히 저기압에서는 현저하다. 이것은 전극의 직경이 작을 경우, 양극 근방에서의 전계가 크며, 또한 전자는 양극 주변의 대수퍼텐셜에 의해 밀폐되어 충돌전리에 기여하는데, 전극의 직경이 클 경우에 전자는 양극에 충돌하기 쉬우므로, 효과적으로 전리에 기여할 수 없기 때문이라고 생각된다.

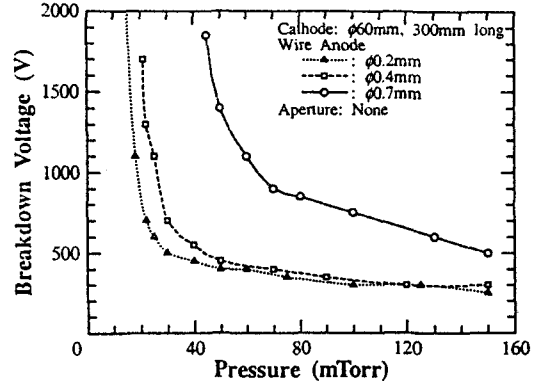


Fig.5  $V_B$  dependence on gas pressure with anode wire diameter

### 3.2 펄스방전의 기본적 특성

WIPS에서는 방전개시전압보다 높은 구형전압을 인가하므로써 펄스적으로 방전을 일으킬 수 있다. 펄스방전에 의해 플라즈마원에서 방출되는 이온전류밀도의 순시값을 증가시킬 수 있다. WIPS에서는 낮은  $pd$ 영역에서도 비교적 낮은 전압으로 방전이 개시되므로, 펄스방전을 할 경우의 인가전압도 낮은 전압으로 가능하여 제어성이 좋은 펄스 이온원으로써의 응용이 가능하다. 실험에서는 방전전-방전시-방전후의 특성으로써, 방전지연시간과 이온전류밀도 및 후글로플라즈마를 측정한다.

#### 3.2.1 방전지연시간

그림6에 직류방전개시전압과 비교해 10배 정도의 과전압(6kV)을 인가한 경우의 전형적인 와이어양극 전압 및 방전전류 파형을 나타낸다. 이 경우 펄스 폭이 약 1 $\mu$ s, 피크전류 약 250A의 펄스방전이 일어났다. 또 와이어양극에 전압을 인가한 후 방전전류가 상승하기까지 약 4 $\mu$ s의 지연시간이 관측되었다. 이 지연시간은 WIPS에서 전자-중성성자의 충돌이 적은 기압 영역에서 방전을 하므로, 전리충돌의 속도계수가 적어 방전 형성에 시간이 걸리는 것으로 생각된다.

#### 3.2.2 이온전류밀도

구멍전극의 간격을 변화시켜 가며 이온전류밀도의 피크값에 대한 충전에너지 의존성을 그림7에 나

타낸다. 이온전류밀도는 기압에 따라 다르지만, 평균적으로 구멍전극의 간격이 좁아지면 이온전류밀도가 증가하는 경향이 보인다. 따라서 이온전류밀도의 크기는 방전에 주입되는 단위길이당 에너지에 의존한다.

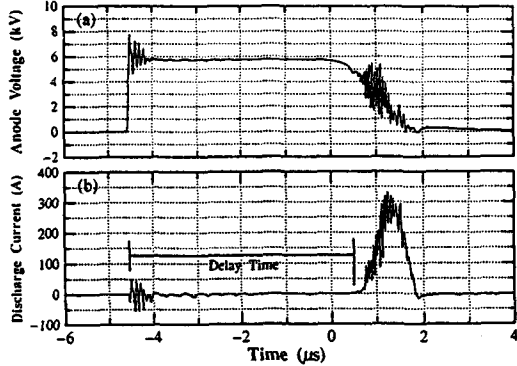


Fig.6 Time evolution of anode voltage and discharge current

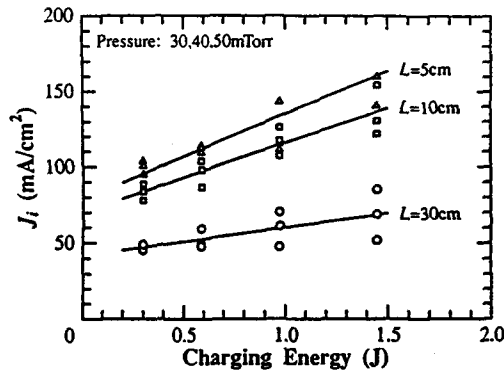


Fig.7 Dependences of ion current density on separation length of aperture electrodes

### 3.2.3 후글로플라즈마

방전전류가 0이 되는 시점을 시간 원점으로 하여 전자온도 및 전자밀도의 시간 변화를 그림8에 나타낸다. 방전 종료 직후의 전자온도는 6~12eV이며, 전자밀도는 약  $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 이다. 1 $\mu\text{s}$  후에 전자온도는 2eV 정도의 값까지 급격하게 감쇄하며, 그 후 완만하게 감쇄한다. 전자밀도는 감쇄시정수 5 $\mu\text{s}$  ~ 10 $\mu\text{s}$ 에서 지수함수적으로 감쇄한다.

## 4. 결 론

직류방전에 있어서

1. 저기압일수록  $V_B$  및  $V_S$ 가 높아진다.
2. 구멍전극의 구경 및 와이어양극의 직경이 클수록  $V_B$ 가 높아지지만  $V_S$ 는 별로 변하지 않는다.

펄스방전에 있어서

1. 방전전압이 인가되어 전류가 상승하기까지 수 $\mu\text{s}$ 의 방전지연시간이 관측되었다.

2. 방전에 주입되는 에너지밀도를 증가시키면 이온전류밀도가 증가한다.
3. 후글로플라즈마는 양극성확산이 지배적이며, 전자밀도의 감쇄시정수는 5 $\mu\text{s}$  ~ 10 $\mu\text{s}$ 이다.

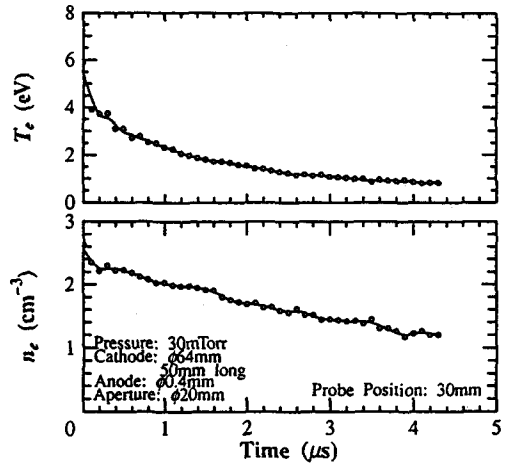


Fig.8 Time evolutions of  $T_e$  and  $n_e$  in the afterglow plasma

## [참 고 문 헌]

- [1] B.M.Johnson, K.W.Jones and M.Meron, "Synchrotron Radiation Production and Trapping of Highly Charged Ions", Nuclear Instr. and Methods in Phys. Research, B10/11, 313, 1985
- [2] 寺澤倫孝 and 栗屋容子, "キングトン・イオントラップ", パリテイ, 6, 35, 1991
- [3] R.H.Hooverman, "Charged Particle Orbits in a Logarithmic Potential", J. Appl. Phys., 34, 3505, 1963