

# 좁은 간격의 고압 DC 글로우 방전에서의 방전물성에 관한 연구

박재성<sup>0</sup>, 정희섭, 신범재, 황기웅

서울대학교 전기공학과

## A Study on the Characteristics of High Pressure DC Glow Discharge with a Narrow Gap

Jae Seong Park, Heui Seob Jeong, Buhm Jac Shin, and Ki Woong Whang

Dep. of Electrical Engineering, Seoul National University

### Abstract

It is important to understand the behaviours of the high pressure DC glow discharge with a micro gap inside a pixel of the plasma display panel. We prepared a narrow gap discharge system and have measured electron temperature and density by means of double probe methods in high pressure which was between 100torr and 200torr. And the electrode gap was 7mm.

When the pressure varied from 100torr to 200torr, the negative glow was created at a distance less than 1mm from the cathode. And the length of the Faraday dark space decreased from 8mm to 5mm. Hence probe measurements was mainly performed in the region of the Faraday dark space. The dependence of electron temperature and density on the pressure and current density was same with that of the general glow discharge, i.e. as the pressure increased the electron temperature decreased and the density increased. But the spatial electron density distribution in the Faraday dark space was highly distorted because of the effect of high pressure.

### 1 서론

기체 방전의 특성에 관한 연구는 기체 방전의 응용분야가 확대됨에 따라 많은 연구가 이루어져 왔다. 그리하여 전극간의 거리가 수-수십cm인 저압에서의 DC 방전과 고압에서의 spark, corona 방전등의 영역에서 비교적 많은 정보가 축적되어 있다. 그러나 최근 PDP( Plasma Display Panel )에 대한 연구가 활발해지면서 높은 압력( 수 백 torr ), 좁은 간격( 수 mm )의 DC 방전에 대한 연구가 필요하게 되었다. 특히 수 백 torr 압력범위의 DC 방전에서 방전물성은 그 자체로서 뿐만 아니라 PDP연구의 기초적인 연구과제로서도 의미를 지닌다. 그리하여 본 논문에서는 주로 100-200torr의 압력범위와 6mm의 전극간격을 갖는 DC 방전관 내부에서 방전특성을 이해하기 위하여 플라즈마 변수중 가장 중요한 전자의 온도와 밀도를 측정하였다.

측정은 electric probe를 이용하여 이루어졌는데 probe를 이용한 측정은 모든 플라즈마 진단 방법들 중에서 공간적인 플라즈마 변수들을 직접적으로 얻을 수 있는 방법이다. 일반적으로는 single probe를 이용하지만 좁은 간격의 고압 DC 방전에서는 probe와 전극간의 방전이 발생하여 정확한 측정을

하기가 힘들다. 그러나 double probe를 이용하면 probe와 전극간에 방전이 발생하는 문제를 해결할 수 있다. double probe는 probe 회로와 방전 회로가 연결되어 있지 않으므로 probe와 전극간의 방전이 발생하지 않는다. 그리고 double probe는 전기적으로 floating되어 있으므로 플라즈마 전위에 대해 항상 음의 전위를 갖는다. 따라서 double probe는 single probe와 같이 플라즈마로부터 전자를 과도하게 이끌어내지 않는다. 즉 double probe는 플라즈마에 가하는 교란이 최소화된 상태라고 할 수 있다. 이것은 작은 전극을 가지는 좁은 간격의 방전에서도 같이 플라즈마의 규모가 작을때는 아주 중요한 문제이다.

### 2 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

실험은 10<sup>-5</sup>torr까지 진공을 얻을 수 있는 quartz관 내부에서 행해졌다. 음극과 양극은 모두 구리에 니켈을 도금하였으며 0.5cm, 0.75cm, 1cm의 반경에 대해 실험이 이루어졌다. 위의 전극을 사용하여 방전을 일으킬때 100torr 이상의 압력 범위에서는 수 백mA의 방전 전류가 흐르므로 음극이 아주 심하게 가열되어 실험을 수행할 수 없었다. 그리하여 음극을 수냉하여 안정적인 방전상태에서 실험을 수행하였다.

#### 2.2 Electric double probe

##### 1) 전자 온도( T<sub>e</sub> )의 측정

대체로 아주 이상적인 경우로써 이온 포화전류가 probe 전압에 따라 그다지 많이 증가하지 않고 probe 캐피이 대칭인 경우에는 그 해석이 많은 문헌에 나와 있다. 그러나 실제로는 많은 경우에 있어서 이온 포화 전류가 전압이 증가함에 따라 계속적으로 증가하고 더욱이 probe 캐피이 매우 비대칭적이다. 이와 같은 경우에도 해석을 위한 모델이 제시되어 있다.[1]

##### 2) 전자 밀도( n<sub>e</sub> )의 측정

압력이 100torr에서 200torr의 범위일때 전자의 평균 비행 거리( λ<sub>0</sub> )는 약 10<sup>-7</sup>m 이다. 또 전자의 밀도가 10<sup>10</sup>cm<sup>-3</sup>-10<sup>12</sup>cm<sup>-3</sup>, 온도가 1-2eV일때 디바이 길이( λ<sub>D</sub> )는 약 10m<sup>-5</sup>이고 실험에 이용된 probe의 반경( r<sub>p</sub> )은 0.1mm이다.

$$\lambda_0 < 4\lambda_D < r_p$$

위의 관계는 collisional thin sheath의 조건이며, 본 실험에서 probe로 들어오는 전류로써 전자의 밀도를 구할 때 probe 쉬스 내에서 충돌을 고려해야 함을 의미한다.[1][2]

### 3 실험결과

#### 3.1 좁은 간격(7mm)의 방전에서 방전 영역의 분포

일반적으로 DC 글로우 방전에서 방전 영역은 휘도의 분포에 의해 결정되는데 음극으로부터 cathode layer, negative glow, Faraday dark space, positive column, anode glow 등이 순차적으로 나타난다.[3] 실험에서는 압력이 100torr에서 200torr까지 변화할때 음극으로부터 1mm내에 negative glow 영역이 존재하였고 Faraday dark space는 약 7mm(100torr에서는 전극간격을 1cm로 확장하여 Faraday dark space의 크기를 측정하였다)에서 4mm로 짧아졌다. 그리고 나머지는 positive column이 차지하였다. 따라서 실험이 행해진 7mm의 전극 간격에서는 Faraday dark space가 가장 많은 영역을 차지하였고 probe 측정은 주로 Faraday dark space의 뒷부분에서 이루어 졌다.

#### 3.2 압력에 따른 전자의 온도와 밀도의 분포

그림1은 압력에 따른 전자의 온도와 밀도의 분포를 보여준다. 실험은 비정상 글로우 방전이 시작되는(negative glow가 음극 면을 완전히 뒤덮었을 때) 시점에서 행해졌으며 probe는 negative glow의 바로 뒷면, 즉 Faraday dark space 영역에서 행해졌다. 그림1은 압력이 증가함에 따라 전자가 중성 기체와 충돌하는 횟수가 많아져 전자의 온도는 떨어지고 전류밀도가 증가(또한 전자의 확산이 감소)하여 전자의 밀도가 높아짐을 보여주고 있다. 이 결과를 보면 100torr 이상의 압력에서 전자의 온도는 대체로 1eV 근처이고 밀도는  $10^{11}$ - $10^{12}$ cm<sup>-3</sup> 정도임을 보여 주고 있다. 방전 전류와 전압은 압력이 증가함에 따라 대체로 선형적으로 증가하였다.

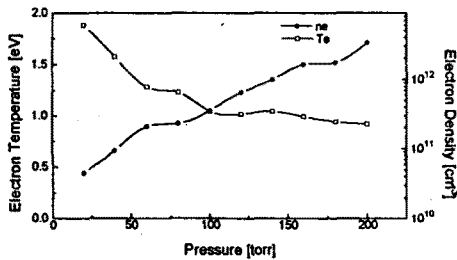


그림 1. 압력에 따른 전자의 온도와 밀도

#### 3.3 전류밀도와 전극반경에 따른 전자의 온도와 밀도의 분포

그림1에서는 각 압력에 따라 방전 전류가 다르므로 전류가 일정할때 압력이나 방전의 규모가 바뀔때 따라 전자의 온도와 밀도를 살펴볼 필요가 있다. 그림2는 전극의 크기가 변화할때 전류밀도에 따른 전자의 온도와 밀도를 보여주고 있다. 여기서 그림2의 (a)와 (b)는 전극의 반경이 1cm, 0.75cm, 0.5cm로 변할때 전자의 온도와 밀도를 나타내고 있는데 전류밀도가 증가함에 따라 전자의 온도와 밀도는 각 압력범위에서 모두 증가하고 있다. 그림에는 나타나 있지 않지만 방전전압은 전류밀도와 선형적인 관계를 유지하며 증가하였다. 즉 공급되는 전력이 증가하면서 전자의 온도와 밀도가 증가하는 것은 당연한 결과이다. 또 일정한 전류밀도에서 압력에 따른 경향성도 아주 뚜렷한데, 압력이 높을수록 전자의 충돌이 증가하여 온도는 감소하고 밀도는 증가하였다.

결론적으로, 전류밀도가 20-80mA/cm<sup>2</sup>의 범위일때 전자의 온도는 대체로 1eV 정도이고 밀도는  $10^{11}$ - $10^{12}$ cm<sup>-3</sup> 정도의 값을 보였다.

#### 3.4 전자의 온도와 밀도의 공간적인 분포

일반적으로 DC 글로우 방전에서 기체 압력이 100torr이상일때 positive column이 축 방향으로 수축하는 현상이 발생한

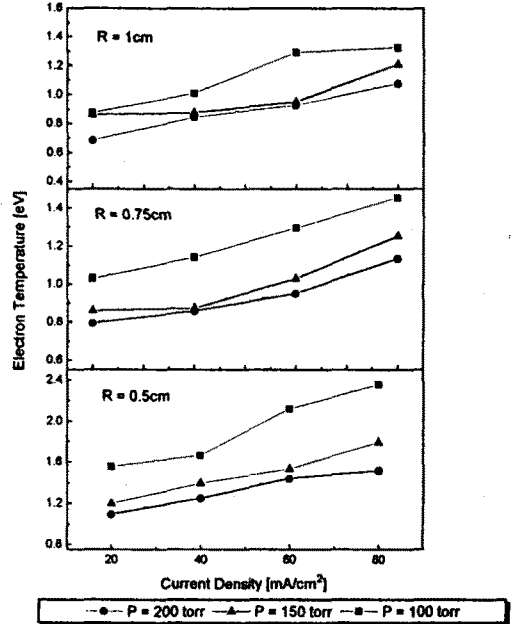


그림 2. (a) 전류밀도에 따른 전자의 온도

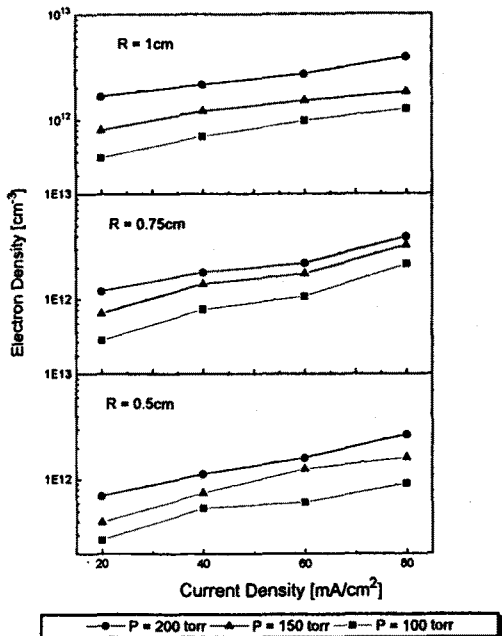
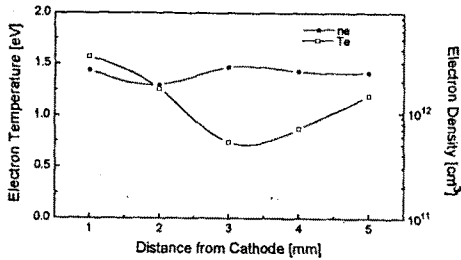


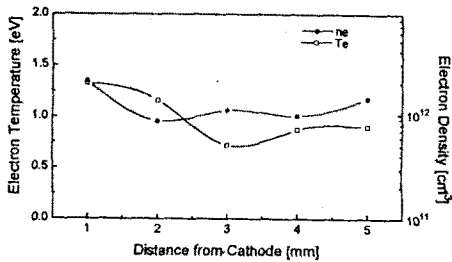
그림 2. (b) 전류밀도에 따른 전자의 밀도

다. 본 실험에서도 전극간격을 3cm정도로 넓혀서 실험을 하였을때 positive column이 수축되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 압력과 전류밀도가 높을수록 쉽게 관찰되었다. 특히 100torr이상에서는 전류밀도가 극히 낮은 경우를 제외하고는 거의 모든 경우에 positive column이 조금씩 수축되었다.[4] 따라서 7mm의 좁은 전극 간격에서도 positive column이 아주 짧지만 존재하므로 이러한 현상이 발생하게 되며 probe 측정영역인 Faraday dark space에서의 전자온도와 밀도에 영향을 미친다. 이것이 그림3에 나타나 있다. 그림

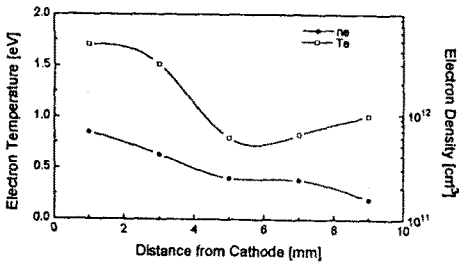
전자의 온도와 밀도의 분포이다. 그림(b)에서 보여지듯이 전류가 감소하면서 밀도가 조금 더 정상적인 분포쪽으로 변화하고 있다. 그림(c)는 100torr, 41mA, 전극간의 거리 1.2cm, dark space의 길이 7mm일때, 즉 그림(b)와 같은 전류에서 압력을 100torr로 낮추었을때의 전자의 온도와 밀도의 분포이다. 그림(c)는 정상적인 DC 글로우 방전의 Faraday dark space 영역에서 온도와 밀도의 분포이다. 따라서 높은 압력을 가지는 좁은 간격의 방전에서는 전류밀도가 증가함에 따라 전류의 집중이 발생하여 방전관 내부에서 공간적인 밀도 분포가 정상적인 DC 글로우 방전에서의 분포와는 다른 양상을 띠었다.



(a) 200torr, 178mA, dark space의 길이 = 4mm



(b) 200torr, 41mA, dark space의 길이 = 4mm



(c) 100torr, 41mA, dark space의 길이 = 7mm,  
전극간격 = 1.2cm

그림 3. 전자의 온도와 밀도의 공간적인 분포

(a)는 200torr, 178mA, dark space의 길이 4mm일때 전자의 온도와 밀도의 분포이다. 전자의 온도는 negative glow 영역에 가까운 쪽에서부터 점점 감소하다 positive column쪽으로 갈수록 점점 증가하고 있다. 이것은 대체로 정상적인 분포이다. 그러나 전자의 밀도를 보면 정상적인 밀도의 분포와 상당히 다른 것을 알 수 있다. 전자의 밀도가 거의 변화가 없는데 이것은 이미 positive column이 수축되어 Faraday dark space에서부터 전류가 측방향으로 집중되고 있음을 나타내고 있다. 그림(b)는 200torr, 41mA, dark space의 길이 4mm일때

#### 4 결론

높은 압력, 좁은 전극간격의 DC 방전에서의 특성은 일반적인 DC방전의 특성과 다르지 않은 경향성을 보여주고 있다. 즉 압력이 증가함에 따라 전자의 온도는 감소하고 밀도는 증가하였다. 또 전류밀도가 증가함에 따라 전자의 온도와 밀도는 증가하였다. 그리고 압력이 100torr에서 200torr 사이일때 전자의 온도는 1eV 내외이고 밀도는  $10^{11}$ - $10^{12}$ cm<sup>-3</sup>이었다. 그리고 압력과 전류밀도가 증가할수록 전류가 집중되어 Faraday dark space 내에서 전자의 밀도가 정상적인 DC 방전과는 다른 분포를 띠었다.

#### 참고문헌

- [1] J. D. Swift, M. J. R. Schwar, Electrical Probes for Plasma Diagnostics, pp144, (London Iliffe Books, 1970)
- [2] D. N. Ruzic, Electrical Probes for Low Temperature Plasmas, pp42, (The Education Committee American Vacuum Society)
- [3] B. Chapman, Glow Discharge Processes, pp79, (John Wiley & Sons)
- [4] Y. P. Raizer, Gas Discharge Physics, pp239, (Springer-Verlag)