

제논 (Xe) 평판형 플라즈마 광원의 전기적 및 광학적 특성 연구

최 용성, 문 종대, 이 경섭, 이 상헌*

동신대학교 전기공학과, *선문대학교 전자정보통신공학부

The Electrical and Optical Properties of Xe Flat Plasma Light Source

Yong-Sung Choi, Jong-Dae Moon, Kyung-Sup Lee, and *Sang-Heon Lee

Department of Electrical Engineering, DongShin University,

*Division of Electronics, Information & Communication Eng., SunMoon Univ.

Abstract : Discharge of the flat lamp lighting source research are requested very much. For improving brightness, life time, efficiency of flat lamp, plasma diagnosis of the flat lamp lighting source to understand property of lighting source is very important. Distance of discharge electrode is 5.5mm and width is 16.5mm, we have measured electron temperature and electron density measured with single Langmuir probe in flat lamp. We have tested the discharge from 100 Torr to 300 Torr pressure. The pulse is rectangular pulse with frequency 20kHz and duty ratio 20%. In result, electron temperature decreases and electron density increase as increase the gas pressure and electron temperature decreases and electron density increase as increase the voltage.

Key Words : Plasma, Langmuir, electron temperature, Electron density, Light Source

1. 서 론

현재는 액정 디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display)가 후면광원으로 쓰이고 있는 냉음극관형 램프(CCFL: Cold Cathode Fluorescent Lamp)가 배치된 도광판 방식은 규일한 휘도 20인치 이상의 대화면화의 실현이 문제가 되고 있다. LCD가 대화화 하면서 CCFL의 경우 휘도의 균일성이 떨어지는 문제가 발생한다. 따라서 CCFL의 경우 대형화 되어가는 현재의 display에 적합하지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 LCD후면 광원으로 평면광원이나 EL(Electro-Luminescence) 등이 도광판 방식으로 문제를 해결할 수 있다[1][2].

그러나 평판형 광원은 아직까지 휘도, 수명, 효율 면에서 부족한 점들이 매우 많다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 평판형 광원의 주 에너지원인 전자와 이온의 온도 및 밀도 같은 방전플라즈마의 여러 가지 기초 변수들을 진단과 해석이 필요하다[3]. 또한, 고휘도 및 고효율 특성을 갖는 평판형 광원이 개발되어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 평판형 광원 플라즈마의 기초 변수들, 즉 플라즈마의 전자온도, 이온밀도를 측정하기 위하여 Langmuir 탐침법을 사용하였다. Langmuir 탐침은 자체가 단순한 구조로 되어 있지만 플라즈마의 기초 변수 진단에는 편리하고, 탐침에 가해주는 음과 양의 직류 바이어스전압과 방전 플라즈마간의 전위차에 의해서 탐침으로 유입되는 전류를 통해서 플라즈마에 전자온도와 플라즈마의 이온밀도를 구할 수 있다. Langmuir 탐침으로 전자온

도 및 이온 밀도를 구함으로써 평판형 광원에 대한 플라즈마의 진단이 가능하다. 또한 평판형광원의 휘도 및 스펙트럼을 측정함으로써 평판형 광원의 특성을 이해할 수가 있다.

2. 실험 방법

2.1 이론

평판형 광원은 전극의 배치에 따라 2가지로 구분할 수 있다. 전극을 전면 유리(rear glass)에 각각 배치 시기는 반대 전극 형과 한쪽 면에 일정한 거리를 띄어 전극을 배치시킨 면방전 형태(surface discharge type)가 있다. 본 논문에서는 반대형전극형이 이온충격에 의한 스퍼터링(sputtering)에 의해 수명이 짧아지고 소비전력이 높다는 단점으로 면방전형태의 새로운 Type의 전극구조를 제안하였다.

일반적으로 플라즈마를 진단한다는 것은 플라즈마 내부의 전자와 이온 밀도, 온도 전체, 자계 등을 측정해서 물리적인 현상이나 동작을 판단하는 것을 말한다. 진단의 변수는 플라즈마 밀도를 표시하는 전자 밀도Ne 입자의 에너지 상태를 표시하는 에너지 분포함수 $f(\xi)$, Maxwell 분포일 때 정의 되는 전자온도 T_e , 이온 온도 T_i , 플라즈마 공간전위 V_p 등이 있다. 이중 전자의 온도와 밀도는 특정의 플라즈마 상태를 이해할 수 있게 하는 대표적인 변수라 할 수 있다. 제논의 유도결합형 방전 플라즈마는 Langmuir 단일 탐침법을 통해 주 에너지원인 전자, 이온

의 온도 및 밀도를 실험적으로 진단과 해석하였다[4].

플라즈마 내에서 전자들이 가지는 에너지를 의미하는 전자 온도는 탐침 전압 V_{p1} 과 V_{p2} 이들 전압에 대한 탐침 전류 I_{e1} 과 I_{e2} 로서 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{kT_e}{e} = \frac{V_{p1} - V_{p2}}{\text{Ln}\left(\frac{I_{e1}}{I_{e2}}\right)} \quad (1)$$

즉, 전자 온도는 측정에서 얻은 전자전류 $I_e(V)$ 를 전압 V 에 대해 대수눈금을 취하면 직선이 되고, 기울기로 유도된다. 전자 밀도는 공간전위 V_s 부근에서의 전류를 열확산 전자전류 I_{eo} 이므로 전류의 기울기에서 구한 전자온도와 I_{eo} 를 다음 식에 대입하여 실용적 단위로 변환된다.

$$N_e = 3.73 \times 10^{11} \frac{I_{eo}}{S \cdot \sqrt{T_e}} \quad [cm^{-3}] \quad (2)$$

2.2 시료 제작

시료 제작은 55mm×85mm×1.1mm인 유리(soda-lime glass)를 초음파 세척기로 1차 세척을 한 후 아세톤과 에탄올을 이용하여 2차적으로 깨끗이 세척한 다음 약 500℃의 고온에서 약 40분 가열하여 결정구조를 잡았다. 결정구조를 잡는 이유는 전극과 유전체를 도포하고 건조 소성시킬 때 발생 하는 오류를 잡기 위한 방법으로 결정구조가 이루어 지지 않을 경우 전극 및 유전체가 갈라지거나 혹은 다량의 보이드가 생길 수 있다. 다음으로 결정 구조를 잡은 유리판 위에 전극을 도포 하였다. 도포 방법은 스크린 프린팅 방법을 이용하여 도포 시켰다. 스크린 프린터의 매쉬는 750으로 4~5회 스카린하여 도포 시켰다. 그림 1은 본 실험에 제작된 과정이다.

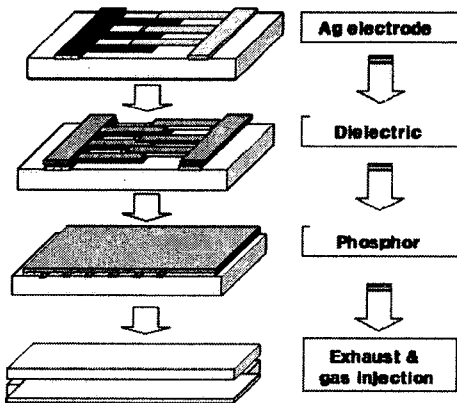


그림 1 평판형 광원의 제작 과정

평판형 램프의 전극의 두께는 15μm로 도포하였다. 도포

된 유전체를 건조하기 위하여 진기로위에서 약 40분정도 소성을 시킨 후 그 위에 다시 유전체를 30~50μm로 도포 시켰다. 유전체를 도포 시킨 후 마지막으로 약 40분 정도 소성을 하여 제작하였다. 그림 2는 제작된 전극의 형태를 나타낸 것이다.

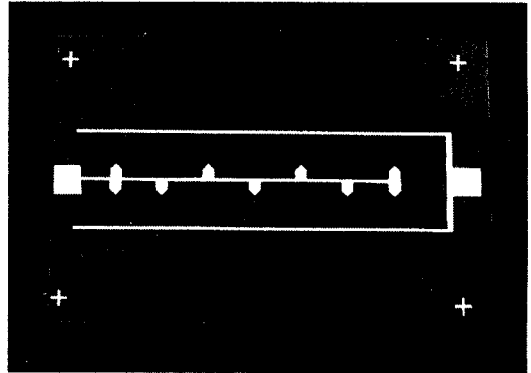


그림 2 유리판 위에 형성된 평판형 광원의 전극

2.3 실험 장치

실험 장치는 그림 3처럼 방전실험 챔버에 제작된 시료를 설치하고, Langmuir 탐침을 삽입하여 방전을 시켜 전자 온도 및 이온 밀도를 측정하였다. 방전 챔버는 금속재를 사용하여 제작하였으나 가시적으로 플라즈마 형태를 알아보기 위하여 상층부분과 측면부분에 석영 유리창을 두어 유관으로 관찰할 수 있게 하였다. 챔버 안의 진공은 로타리 펌프를 사용하여 배기시킨 후 유량조절장치(MFC: Mass Flow Controller)를 사용하여 챔버 안에 100Torr~300Torr의 제논(Xe)가스를 조절하였다. 제논가스의 순도는 99.999%인 고 순도 가스를 사용하였다. 방전 전압은 전원 구동장치는 FTP Lab의 HP1300을 통하여 전압을 인가 평판형 전극을 구동하였다.

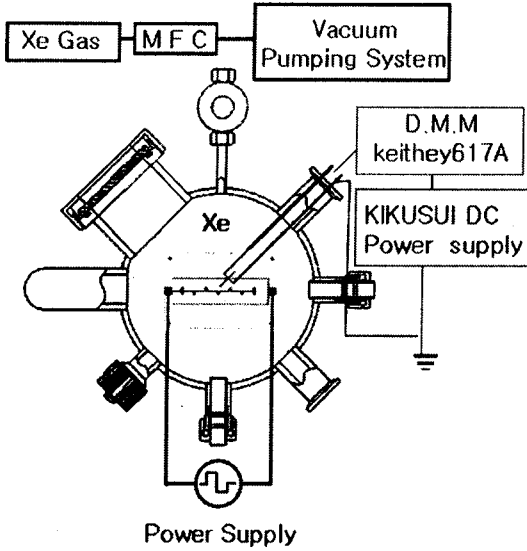


그림 3. 실험 장치 개략도

구동 전압은 400V~800V, 주파수는 20kHz, 듀티비는 20%에서 방전을 유지시켜 측정하였다. Langmuir 탐침은 0.1mm의 지름에 텅스텐 와이어를 사용하였다. 침을 끝부분으로부터 1mm를 제외하고 나머지는 유리관 안으로 넣은 다음 텅스텐과 유리관을 밀착시켜 플라즈마와 절연시켰다. 텅스텐 침의 앞부분은 1mm로 만들어 측정 시 발생하는 플라즈마 교란이 없이 전자온도 및 밀도를 측정할 수 있다. 절연시킨 유리관은 구리 판으로 안에 넣고 구리 판은 그라운드로 설정하였다. 탐침에는 DC 전원 구동장치를 사용하여 -30V~70V까지 입력하여 전류를 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

평판형 광원에서 플라즈마 방전은 전극에 인가되는 전압에 따라서 많은 변화가 있다. 방전 개시 전압은 약 400V로 이상부터 플라즈마가 발생하기 시작하였다. 다음 그림 4는 구동전압 700V에서 Xe압력에 따른 전압 전류 특성을 나타낸 것이다. 프로브 외부 입력전압을 -30V에서부터 5V씩 상승시키면서 플라즈마 내부의 전압 전류 곡선을 측정한 것이다. -30V부터 0V까지는 약-1.5mA의 전류 값으로 거의 모든 압력에서 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 0V부터 10V까지는 서서히 증가하기 시작하면서 10V이상에서는 급격히 전류 값이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 제논의 압력이 증가할수록 전자 전류의 기울기가 감소하였고, 탐침 된 전자의 포화 전류도 감소하였다. 이와 같은 결과는 제논의 압력이 증가하면 플라즈마 내부에 전자가 증가하여 음 전류가 급격히 증가하게 되고, 탐침에 음 전류가 유입되므로 I-V 특성 곡선의 기울기가 감소하게 된다.

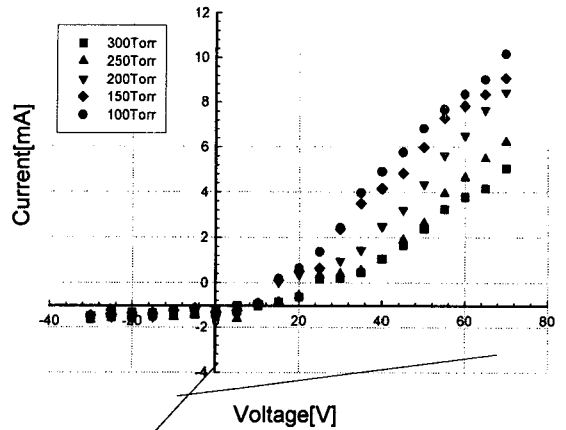


그림 4. 압력에 따른 I-V 곡선

제논가스의 압력에 따라서 측정된 전압-전류곡선의 값을 전류 축을 로그로 환산 한 뒤 그 기울기를 측정하여 식 (1)과 (2)에 대입하여 계산하여 플라즈마의 전자 온도 및 밀도를 구할 수 있다. 그림 5는 전류 값을 로그로 환산한 그래프이다. 측정 결과로부터 제논의 압력이 증가 할수록 전자온도는 약 0.5eV~0.9eV로 제논의 압력이 증가 할수록 전자온도는 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 전자 밀도 약 $0.9 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ ~ $2.7 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 로 압력이 증가할수록 밀도가 증가하는 현상을 나타냈다.

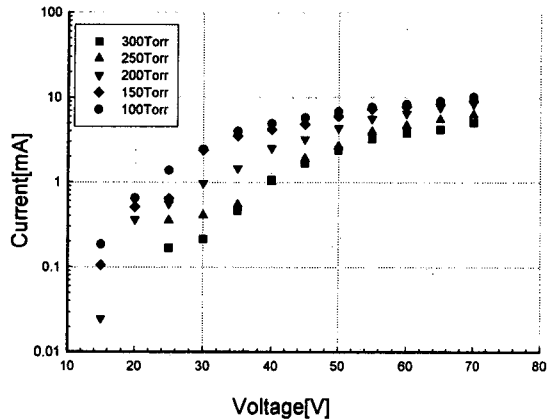


그림 5. 압력에 따른 결과 값 계산을 위한 I-V 특성

그림 6은 구동 전압에 따라서 전류-전압 곡선을 나타낸 것으로서 전압이 증가할수록 전자온도가 증가하는 현상을 살펴볼 수 있었다.

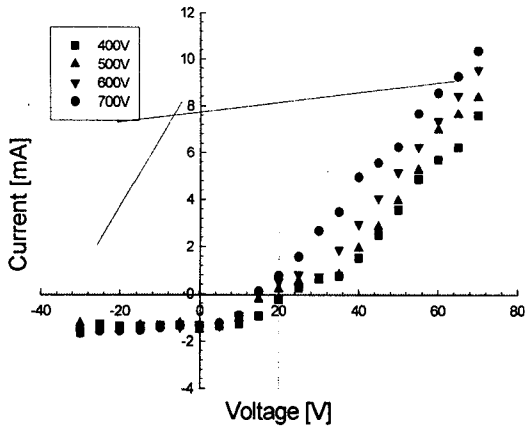


그림 6. 구동 전압에 따른 I-V 곡선

입력전압이 증가에 따라서 $0.8 \sim 0.9\text{eV}$ 로 증가하였고 전자 밀도는 $1 \times 10^{11}\text{cm}^{-3} \sim 1.8 \times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 증가하였다. 그림 7의 기울기 값을 계산 결과를 살펴보면 압력은 증가할수록 전자온도는 감소하는 것을 알 수 있었고 전압 증가 시 전자온도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이온 밀도는 압력과 전력이 증가할수록 증가하는 현상을 알 수 있었다.

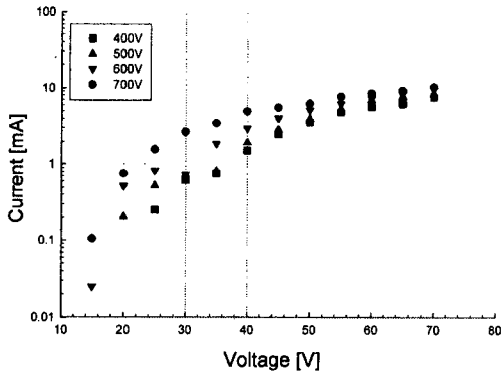


그림 7. 구동전압에 따른 I-V 특성

이와 같은 평판형 광원의 전기적 특성인 전자 온도 및 밀도를 측정된 결과 제논의 압력 증가할수록 중성기체의 수와 충돌 빈도수가 증가함으로 전자 온도가 감소되었다. 전자 밀도는 상대적으로 증가하는 현상을 보였다. 유효제적내의 제논 압력 증가는 플라즈마 에너지의 매개 변수인 전자온도를 상대적으로 감소시키는 결과를 나타냈다.

그림 8은 평판형 광원의 전극위에 PDP용 형광체를 포함한 유리판을 놓고 그 사이를 약 20mm정도 띄웠다. 그리고 휘도를 측정된 결과 가스 압력은 300 Torr이고 구동 전압은 700V에서 약 250cd/m^2 으로 저조한 휘도 값을 나타내었다. 그림 6은 평판형 광원의 스펙트럼을 측정된 것이다. 480nm, 580nm, 640nm의 각각의 주파장을 나타내었다.

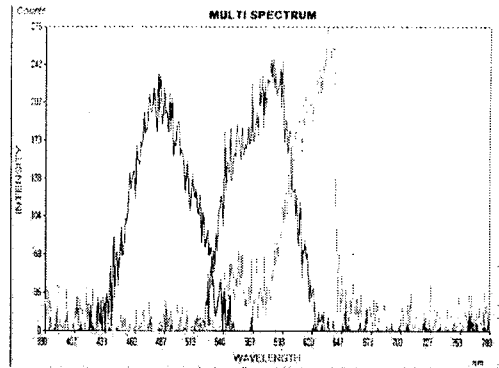


그림 8. 평판형 램프의 스펙트럼

4. 결론

본 논문에서는 평판형 광원 플라즈마의 기초 변수들, 즉 플라즈마의 전기적 특성인 전자온도, 이온밀도를 측정하기 위하여 Langmuir 탐침법을 사용하였다. 평판형 광원에서 플라즈마 방전은 전극에 인가되는 전압에 따라서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 제논의 압력이 증가하면 플라즈마 내부에 전자가 증가하여 음 전류가 급격히 증가하게 되고, 탐침에 음 전류가 유입되므로 I-V 특성 곡선의 기울기가 감소하게 된다.
- 2) 제논의 압력이 증가할수록 전자온도는 약 $0.5 \sim 0.9\text{eV}$ 로 제논의 압력이 증가할수록 전자온도는 감소하는 현상을 볼 수 있었다.
- 3) 전자 밀도 약 $0.9 \times 10^{11}\text{cm}^{-3} \sim 2.7 \times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 로 압력이 증가할수록 밀도가 증가하는 현상을 나타냈다.
- 4) 전압이 증가할수록 전자온도가 증가하는 현상을 살펴 볼 수 있었다. 입력전압이 증가함에 따라 $0.8 \sim 0.9\text{eV}$ 로 증가하였고, 전자 밀도는 $1 \times 10^{11}\text{cm}^{-3} \sim 1.8 \times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 증가하였다.
- 5) 압력이 증가할수록 전자온도는 감소하는 것을 알 수 있었고 전압 증가 시 전자온도가 증가하는 것을 알 수 있었다.
- 6) 이온밀도는 압력과 전력이 증가할수록 증가하는 현상을 알 수 있었다.
- 7) 평판형광원의 휘도는 약 250cd/m^2 으로 낮은 휘도분포를 보였고 주 스펙트럼은 480nm, 580nm, 640nm로 나타났다.

감사의 글

“본 연구는 산업자원부 지방혁신사업 충남디스플레이 R&D클러스터사업(RTI04-01-02)의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.”

[참 고 문 헌]

- [1] Munisamy Anandam and Douglas Ketchum, IEEE Trans, Electron Device, pp.1327-1330, Vol. 39,1992.
- [2] J.Deschamos, Proceedings of the Society for Information Display International Symposium, San Jose CA, 1994, SID 94 Digest, p.315
- [3] 김진구, 최명철, 안정철, 조태승, 조대식, 임재용, 김태영, 김성수, 고재준, 김대일, 이춘우, 서윤호, 조광섭, 강승언, 청은하, 엄환섭 “면방전 교류형 플라즈마 표시장치에서의 전자온도 및 플라즈마 밀도 측정” Sae Mulli(The Korea Physical Society) Volume 40, Number 3, pp.211~217 2000.3.
- [4] Lai, C., Breun, R. A, Sandstrom, P.W., Wendt, A.E, “Langmuir probe measurements of electron temperature and density scaling in multidipole radio frequency plasmas”, Journal of vacuum science & technology. an official journal of the American Vacuum Society. A, Vacuum, surfaces, and films, Vol.11, No.4 p1199, 1993 mechanical properties of ceramics”, J. Mater. Sci., Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.