

Ne, Ar, Kr 혼합가스에서의 유도결합형 플라즈마 방전 특성 (Inductively Coupled Plasma discharge characteristic of Ne, Ar, Kr mixed gas)

허인성*, 최용성, 이 증찬**, 정영일***, 박대희
(In-Sung Her, Yong-Sung Choi, Chong-Chan Lee, Young-il Jeong**, Dae-Hee Park)
원광대학교, 愛媛大学**, (주)이텍***
Wonkwang Univ., Ehime Univ.**, Electric Tech Inc.***

Abstract

Recently, the environmental problem has received considerable attention. so, many lamps have been developing for environmental requirement and energy efficiency. also, at glow discharge lamp researchers try to reduce energy spending that is power saving lamp. this kind requirement agree with strong points of electrodeless fluorescent lamp has received to now lighting sauce.

At low pressure as mTorr I.C.P make high density plasma easily, is good to maintain discharge, has high ionization and does not have failing lighting and losing ability of electron radiation by oxidation and volatilization of electrodes, because this tape does not have electrodes

This point of I.C.P can use at electrodeless fluorescent lamp in this study ICP display elements and Ar, Ne, Kr are researched for optical characteristic. each gas is looked into optical characteristic, also mixed gases is experiment for optical characteristic.

1. 서 론

유도결합형 플라즈마는 mTorr의 낮은 가스 압력에서도 고밀도($>10^{12}/\text{cm}^3$)의 플라즈마의 생성이 용이하고, 방전을 유지하는데 효율적이고, 이온화율이 높으며, 내부에 전극이나 필라멘트가 없어 외부 전극으로도 플라즈마의 발생이 가능하여 전극의 산화·휘발로 전자방출 능력 상실과 점등 실패의 단점이 없다.[1] 이러한 I.C.P의 장점을 이용한 응용분야 중 하나로 무전극 형광램프를 들 수 있다.[2]

무전극 형광램프는 고주파 전력에 의해서 점등되어지는 방전 용기 내에 전극을 갖지 않고, 방전에 의한 여기 방사한 자외선에 의해서 형광체가 발광하는 무전극 형광램프에 있어서 전력을 공급하는 필요한 부분을 제외한 전면이 발광하는 구조로 되어 있다.[3] 수명이 길어 유지 보수에 애로점이 있는 장소를 비롯하여 광범위하게 사용되고 있으며, 앞으로도 더욱 다양한 장소에 사용과 램프의 개선과 효율 향상을 위한 많은 연구들이 예상된다.[4]

무전극 램프의 발광에 있어서 방전에 영향을 미치는 여러 가지 요소 중 내부에 첨가되어지는 불활성 기체인 첨가 가스를 들 수 있다. 첨가 가스가 방전에 있어서 중요한 역할을 하고 있으며, 첨가 가스에 따라 방전에 의해 광학적 특성이 변하고 있다.[5]

본 연구는 I.C.P 방전을 응용한 디스플레이 소자 및

램프에서 사용 되어지는 불활성 가스인 Ar, Ne, Kr 첨가 가스의 방전 특성 중 광학적 특성을 살펴 보고자 하였다. 각 개별 가스의 방전에서의 광학적 특성과, 두 가지 가스를 혼합한 3종류의 가스의 방전에서 광학적 특성을 실험하였다.

2. 실험

본 실험에 사용한 혼합가스에서의 유도결합형 플라즈마 발생 장치는 그림 1에 나타내었다. 방전관 내부의 초기 진공은 로타리 펌프를 사용하여 1×10^{-3} [mTorr] 이하가 되도록 방전관 내부의 진공을 만들어 주었다.

실험에 사용된 불활성 기체인 Ne, Ar, Kr 가스는 99.999%의 순도를 사용하였고, Mass Flow Controller를 통하여 방전관 내부로 50 [mTorr]에서 400 [mTorr] 까지 주입하였다.

고주파 출력이 플라즈마 영역으로 효과적인 흡수가 되도록 원통모양으로 4회 감은 동관 안테나를 방전관 외부에 설치하였다. 출력 주파수는 범용으로 사용하는 13.56 [MHz]를 사용하였으며, 주파수 발전기의 출력은 최대 200 [W]까지 인가하였고, Reverse Power가 1 [W] 이하가 되도록 Matching 회로를 사용하여 조정하였다. 방전관은 내경 90 [mm], 길이 130 [mm]인 파이렉스(pyrex)

를 사용하였다.

휘도 측정은 Luminance Meter인 Minolta LS-100을 사용하여 방전관에서 1[m] 떨어진 거리에서 측정하였으며, 선스펙트럼 측정은 Spectrum analyzer인 PSI의 DARSA-2000을 사용하여 측정하였다.

실험 방법은 Ne, Ar, Kr 가스의 개별 스펙트럼, 색온도, 휘도변화 특성 실험은 각각의 가스를 50, 100, 200, 400 [mTorr]로 주입 하고, 주파수 출력은 20에서 200 [W] 까지 변화 시켜가며 측정하였다. Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스의 휘도변화와 색온도 변화 측정 역시 개별 가스의 실험과 같은 가스양과 주파수 출력을 사용하여 실험하였다.

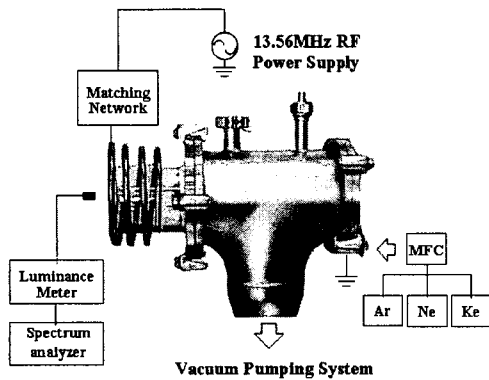


그림 1. 실험 장치도.

3. 결과 및 고찰

3.1 Ne, Ar, Kr 가스별 광학적 특성

Ne, Ar, Kr 가스별 선스펙트럼, 색온도, 휘도 특성을 측정하여 유도결합형 플라즈마 방전에서 개별 가스의 광학적 특성을 살펴본 실험이다.

그림 2는 Ne, Ar, Kr 가스별 선스펙트럼을 측정한 그림이다. Ne 가스는 639.8 [nm]에서 가장 큰 피크 점을 측정하였으며 2가지 가스 중에 가장 높은 Intensity를 보였다. Ar 가스는 758.9 [nm], Kr 가스는 760.5 [nm]의 피크 점을 보였다.

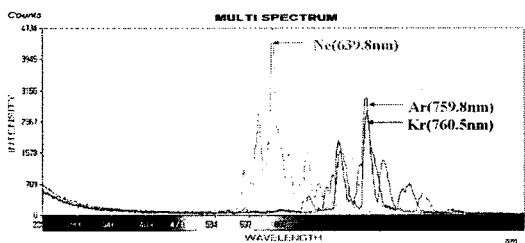


그림 2. Ne, Ar, Kr Gas의 선스펙트럼

그림 3은 Ne, Ar, Kr 가스 각각에 대한 색온도를 측정된 값으로, 가스 주입 양을 100 [mTorr], 주파수 출력은 100 [W]에서 측정된 결과이다. Ne 가스는 1,414 [K]의 오렌지 계열의 낮은 색온도를 보였으며, Kr 가스는 8,269 [K]의 푸른색 계열의 색온도와, Ar 가스는 Kr 가스와 비슷한 푸른색 계열로 19,337[K]인 가장 높은 색온도를 측정 할 수 있었다.

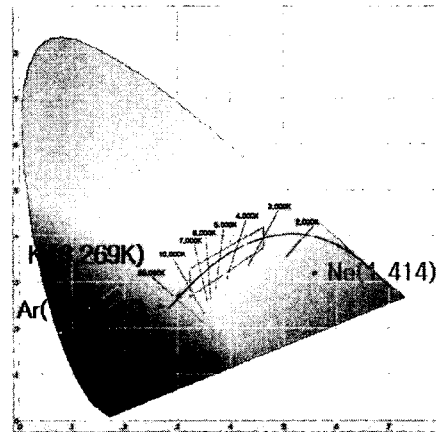


그림 3. Ne, AR, Kr 가스의 CIE 좌표

그림 4, 5, 6은 Ne, Ar, Kr 가스별 가스양과 주파수 출력에 따른 휘도 변화를 측정한 그림이다.

가스양은 50, 100, 200, 400 [mTorr]로 변화 시켜가며 방전관에 주입 시켰고, 주파수 출력은 20 [W]에서 200 [W]까지 20 [W]씩 증가 시켜가며 측정된 휘도 특성이다.

그림 4는 Ne가스의 휘도 특성으로써 400 [mTorr], 20[W]에서 가장 낮은 휘도 특성을 보였다. 그리고 Ne 가스는 다른 2가지 가스인 Ar, Kr 가스 보다 높은 휘도 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

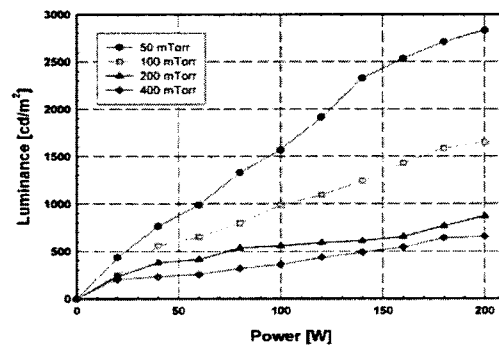


그림 4. Ne 가스의 휘도특성

그림 5는 Ar가스의 휘도 특성으로 Ne 가스의 휘도 특성과 같은 경향으로, 가스량이 감소할수록 휘도가 증가하며, 또한 주파수 출력이 증가할수록 휘도가 증가하는 것이 측정되었다.

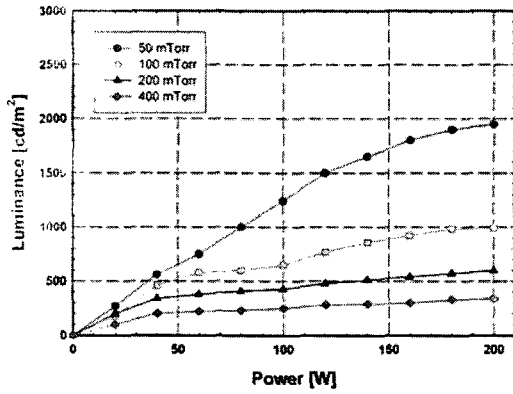


그림 5. Ar 가스의 휘도특성

그림 6은 Kr 가스의 휘도특성으로써 Ne, Ar 가스의 휘도 특성과 같은 경향의 휘도특성을 측정할 수 있었으며, 다른 2가지 가스인 Ne, Ar 가스 보다 낮은 휘도 특성을 보였다.

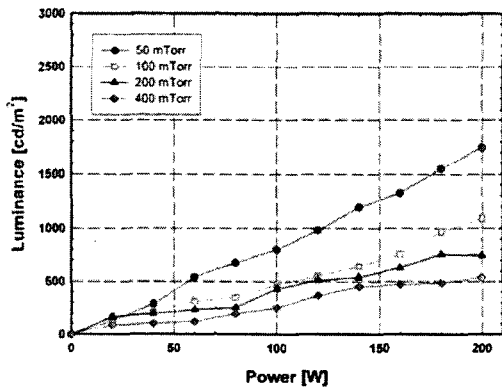


그림 6. Kr 가스의 휘도특성

그림 7은 Ne, Ar, Kr 가스별 가스 주입량 중 가장 높은 휘도 특성을 보인 50 [mTorr]에서의 휘도 특성을 비교한 그림으로, Ne이 2,800 [cd/m²] 이상의 가장 높은 휘도 특성과 그 다음 Ar, Kr 순으로 높은 휘도 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

그리고 주파수 출력이 증가 할수록 휘도가 증가 하는 것을 측정 결과로 확인 할 수 있다.

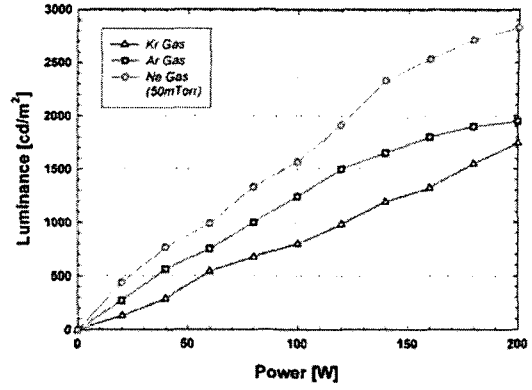


그림 7. Ne, Ar, Kr 가스의 휘도특성

3.2 Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스에서의 광학적 특성

Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스에서의 혼합비에 따른 휘도변화를 측정 한 실험이다.

그림 8은 3종류 Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne의 두 가지 가스를 혼합한 휘도 특성으로, 아래쪽은 혼합 가스 중 첫 번째 가스의 혼합 비율, 위쪽은 두 번째 가스의 혼합 비율로, 두 가지 가스를 혼합했을 때 총량을 100 [mTorr]로 방전관에 주입 시켰다. 주파수 출력은 100 [W]로 고정시켜 놓았다.

첫 번째 Ar-Kr 두 가지 혼합 가스에서는 Ar 가스 비율이 감소하고 Kr 가스 비율이 증소할수록 휘도가 감소하였고, Ar-Ne, Kr-Ne에서 Ar, Kr 가스 비율이 감소하고 Ne 가스 비율이 증가할수록 휘도는 감소하다 Ne 가스의 비율이 98 [%] 이상 일 때 갑자기 휘도가 증가하는 것이 측정되었다.

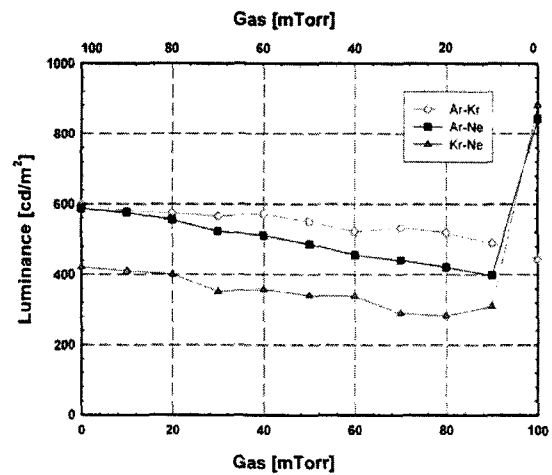


그림 8. Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스의 휘도특성

그림 9는 Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스에서의 혼합비에 따른 색온도 변화를 측정한 결과이다. 실험 결과 3가지 혼합 가스 모두 그림에 원형으로 표시된 Ar과 Kr 가스의 개별 색온도 부근 1,500 [K]에서 미세한 색온도 변화를 보였다.

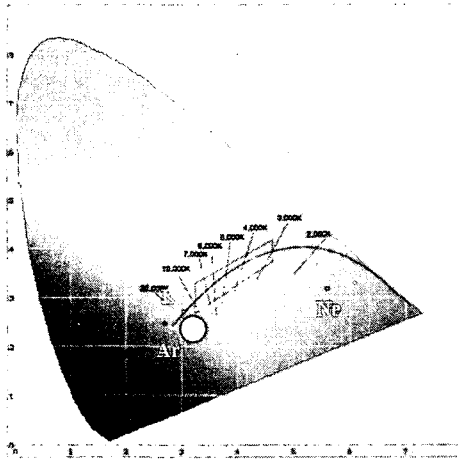


그림 9. Ar-Kr, Ar-Ne, Kr-Ne 혼합가스의 색온도 변화

그림 10은 그림 9에서 보여진 색온도 변화를 확대한 그림이다. 1번부터 10번까지 혼합 비율을 변화한 결과 큰 변화를 가지지 못하고 1,500 [K] 부근에서 측정이 되었다.

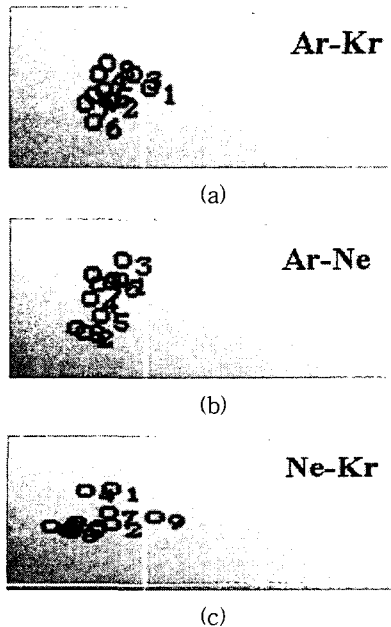


그림 10. (a)Ar-Kr, (b)Ar-Ne, (c)Kr-Ne 혼합가스의 색온도 변화

4. 결론

본 실험은 ICP 방전을 응용한 디스플레이 소자 및 램프에서 사용 되어지는 불활성 가스인 Ar, Ne, Kr 첨가 가스의 방전 특성 중 광학적 특성을 살펴 보고자 하였다. 각 개별 가스의 방전에서의 광학적 특성을 살펴 보고, 두 가지 혼합 가스에서의 방전에서 광학적 특성을 실험하였다.

실험결과 유도결합형 플라즈마 방전에서 Ne, Ar, Kr 가스는 가스양이 감소할수록, 또한 주파수 출력이 증가할수록 휘도 특성이 증가하는 것을 측정 하였으며, Ne, Ar, Kr 가스 순으로 높은 휘도 특성을 측정하였다.

혼합 가스에서는 Ar-Kr, Ar-Ne, Ne-Kr 순으로 높은 휘도 특성을 보였으며, Ar-Ne, Kr-Ne의 혼합가스에서는 Ne가스의 혼합비가 98% 이상일때 Ne 가스의 휘도 특성을 보이는 것을 측정하였다. 전리 전압이 높은 원자 번호가 작은 가스가 준안정상태에서 원자 번호가 큰 가스의 방전을 돕는 페닝효과에 의한 방전 특성으로 보여진다.

Ar-Kr, Ar-Ne, Ne-Kr 3종류의 혼합 가스에서 가스 비율을 변화시켜도 1,500 [K] 부근에서 색온도가 크게 변하지 않는 것을 측정하였다.

본 연구는 2004년 에너지 절약기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 林泉, "플라즈마工学", 朝倉書店, p.19, 1987.
- (2) K Nanbu and Y Kitatani, "Self-consistent particle simulation of RF discharge in argon based on detailed collision data", Vacuum, Vol.47, No.6-8, p.1023, 1996
- (3) D.O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting", IEEE Proceedings A, Vol.140 Issue: 6, Nov, p.465, 1993.
- (4) Valery A. Godyak, Member, "Electrical Characteristics of Parallel-Plate RF Discharges in Argo" IEEE, Vol.19, No.4, 1991
- (5) F. Whitney, "Measurements of Inductively-Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen Properties", Conference Record of the 1994 IEEE, Vol.3, p.1998, 1994.