

Ar 가스 압력과 RF 전력변화에 따른 유도결합형 플라즈마 E-H모드 변환의 광학적 특성

論文

53C-1-4

Optical E-H Transition Properties of Inductively Coupled Plasma with Ar Gas Pressure and RF Power

許寅盛*·趙靑雄*·李永煥*·金光洙*·崔龍成**·朴大熙**

(In-Sung Her, Ju-Ung Jo, Young-Hwan Lee, Kwang-Soo Kim, Yong-Sung Choi and Dae-Hee Park)

Abstract - In this paper, the emission properties of electrodeless fluorescent lamp were discussed using the inductively coupled plasma. To transmit the electromagnetic energy into the chamber, a RF power of 13.56 [MHz] was applied to the antenna and considering the Ar gas pressure and the RF electric power change, the emission spectrum, Ar I line, luminance were investigated. At this time, the input parameter for ICP RF plasma, Ar gas pressure and RF power were applied in the range of 10~60 [mTorr], 10~300 [W], respectively. From emission intensity and luminance intensity results, the mode transition from E-mode to H-mode was observed. This implies that this method can be used to find an optimal RF power for efficient light illumination in an electrodeless fluorescent lamp.

Key Words : Electrodeless fluorescent lamp, Inductively coupled plasma, RF power, Emission intensity

1. 서 론

기존의 일반적인 램프들은 발광관 내부에 전극을 가지고 있어 전극의 산화·휘발로 전자방출 능력 상실과 점등 실패의 원인, 에너지 손실로 램프의 수명을 단축시킨다[1]. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 유도결합 원리를 이용한 무전극 램프는 발광관 내부에 전극이 존재하지 않으므로, 장수명을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 고효율, 고연색성의 장점을 가지고 있다[2]. 이러한 추세에 맞추어 국내에서도 유도결합형 무전극 형광램프에 대한 기술 개발의 필요성 및 중요성이 인식되어 무전극 형광램프의 가스, 형광체, 구조, 인버터 등에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다.

무전극 형광램프의 방전 메커니즘은 마이크로파를 이용한 마이크로파 방전과 고주파 전원을 이용한 RF 방전이 있다. RF방전은 용량결합형 E-방전과 유도결합형 H-방전의 2가지 종류가 있다. E-방전은 RF전원을 방전관의 외벽 평행판 대 전극에 RF전원을 인가하여 전극사이에 형성된 전장에 의해서 평행판 사이에 위치한 방전관에 방전을 유지하는 방전으로써 글로우 방전에 가까운 특성을 갖는다. H-방전은 방전관에 설치된 코일에 RF전원을 인가하여 축방향의 교번자계에 의해 유도된 환형의 유도 전계에 의해서 방전을 유지한다. H-방전은 고밀도의 아크에 가까운 성질을 보이므로 E-방전에 비해 효율이 높아 광원으로서는 이용하기에 알맞은 특성을 보인다[3].

H-방전에서는 외부로부터 인가되는 RF전력에 의해 방전이 일어나면 유도결합 플라즈마는 일단 E-방전의 특징을 갖는 낮은 플라즈마 밀도 상태에 이르는 E-모드를 갖는다. RF 전력의 크기를 증가시키면 특정한 RF 전력에서 방전 체적 내부의 플라즈마 밀도가 갑자기 커지는 정상 상태에 이르게 되어 H-방전인 H-모드로 방전이 발생한다[4].

따라서, 본 논문에서는 전구형 무전극 형광 램프의 발광 효율을 높이기 위하여, 유도결합형 방전인 H-방전 중 Ar 가스가 E-모드에서 H-모드로 모드전환할 때의 광학적 특성에 대하여 조사하였다. Ar 가스 압력이 증가할수록 모드 전환 RF 전력이 증가하는 것을 관측하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 유도결합형 플라즈마 발생 및 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 유도결합형 플라즈마 발생 장치의 기본 구성은 네 가지로 나누어진다. 첫 번째는, 고주파를 발생시키는 고주파 전원과 플라즈마 및 부하 임피던스와의 매칭을 위한 매칭 네트워크와 RF 안테나이며, 두 번째는 RF 방전을 일으켜 플라즈마를 생성하는 진공용기와 파이렉스 방전관이 다. 그리고, 세 번째는 실험에 사용되는 Ar 가스와 가스의 양을 조절하는 유량 조절기 (Mass flow Controller)이다. 네 번째는 진공을 유지하는 진공 펌프로 구성된다.

원통형 스테인레스 챔버에 연결된 파이렉스 방전관은 길이가 120 [mm], 외경이 120 [mm]이다. 파이렉스 방전관 외부에 RF전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 외경 95 [mm]의 동관을 7 [mm] 간격으로 4회 나선형 (helical)으로 감아서 사용하였다. 그리고, 고주파 전원에서 발생하는 13.56 [MHz]의 고주파는 매칭박스를 통해 안테나 코일의 한쪽 끝

* 學生會員 : 圓光大學校 電氣電子및情報工學部 碩士課程

** 正 會 員 : 圓光大學校 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 6月 10日

最終完了 : 2003年 9月 8日

으로 보내어지고 안테나의 다른 반대쪽은 접지되어 있다. 챔버내의 초기 진공도는 1.0×10^{-4} [Torr] 이하이며, Ar (순도 99.999 [%]) 가스의 압력은 피라니게이지로 측정하였다. 플라즈마를 발생시키기 위하여 초기 진공도를 1.0×10^{-4} [Torr]까지 배기시킨 후, 유량 조절기를 이용하여 일정량의 Ar 가스를 스테인레스 진공용기 안에 유입시켰다. 그 후, 13.56 [MHz]의 고주파 전원을 매칭 박스를 통해 반사적력을 0 [W]가 되도록 조정하여 안테나 코일에 인가해 플라즈마를 발생시켰다. 유도결합형 플라즈마에서 방출되는 광학적 특성을 측정하기 위하여 방전관 중심축상 안테나 끝쪽 50 [mm]에 광섬유를 통하여 OPTICAL SPECTRUMANALYZER (DAR-SA-2000)에 의해 분광된 데이터를 컴퓨터로 받아들여 스펙트럼을 분석하였고, 방전관에서 1 [m] 거리에서 휘도계 (LS-100)를 통하여 휘도를 측정하였다. 또한, 주변에 다른 피크들이 없어 측정하기 용이한 750 [nm]과 760 [nm]의 두 Ar-I 라인을 선택하여 측정하였다[5].

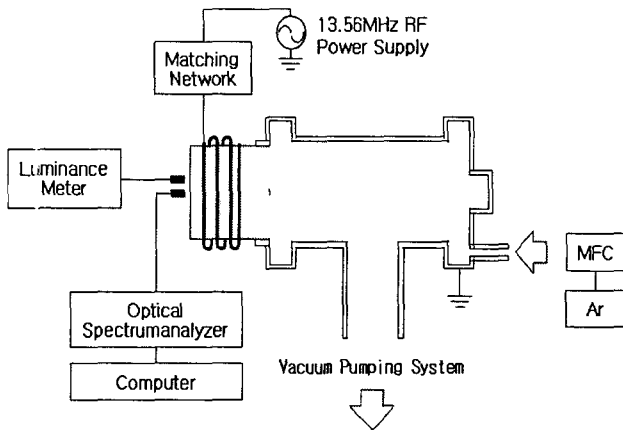


그림 1. 실험 장치 개략도.
Fig. 1. Schematic diagram of experimental equipments.

3. 결과 및 토의

3.1 가스 압력에 따른 광학적 특성

유도결합 플라즈마의 방전에서 방전 모드의 전환 현상을 알기 위해 광방출법을 이용하여 모드전환점을 측정하였다. 그림 2는 20 [mTorr]의 Ar 가스 압력에서 RF 전력을 10 ~ 300 [W]로 변화시켰을 때, 가시광선 스펙트럼의 변화율을 측정된 결과이다. 스펙트럼은 380 [nm] ~ 680 [nm]에서 큰 변화가 없었으나 680 [nm] 이상에서는 전력의 증가에 따라 4배 정도의 발광세기의 변화가 측정되었다. 특히, 750 [nm]와 760 [nm]에서는 스펙트럼의 세기가 상대적으로 크며 주변에 다른 피크들이 없으므로, 이 두개의 라인을 선택하여 모드 전환점을 측정하였다.

방전 모드의 전환 현상을 알아보기 전에, 일정한 RF 전력에서 Ar 가스 압력 변화에 따른 스펙트럼의 특성에 대하여 살펴보았다. 그림 3 (a)는 안테나에 100와 200 [W]의 RF 전력을 인가하였을 때, 5 ~ 60 [mTorr]의 Ar 가스 압력을 변화시켰을 때, Ar-I 라인인 750 [nm]의 emission intensity를 측정된 결과이다. 40 [mTorr] 이하의 Ar 가스 압력에서는 200 [W]의 RF 전력이 더 높은 emission intensity를 나타내며, 45

[mTorr]에서 교차하였다. 그리고, 45 [mTorr] 이상에서 200 [W] 보다 100 [W]의 RF 전력에서 높은 emission intensity가 측정되었다.

그림 3 (b)는 760 [nm]에서의 emission intensity를 측정된 결과를 나타낸다. 760 [nm]로 하였을 때, emission intensity는 750 [nm]와 같이 Ar 가스의 압력이 증가할수록 emission intensity는 감소되는 결과를 나타내었다.

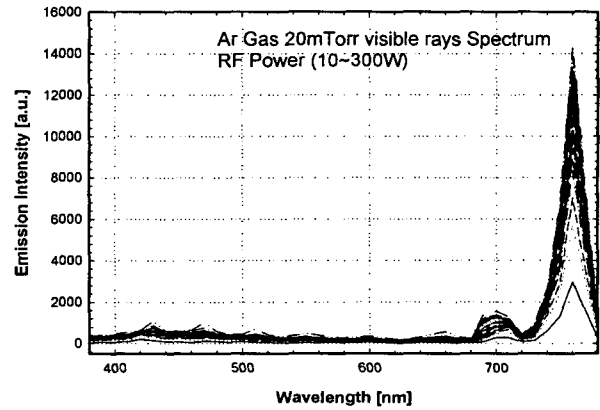
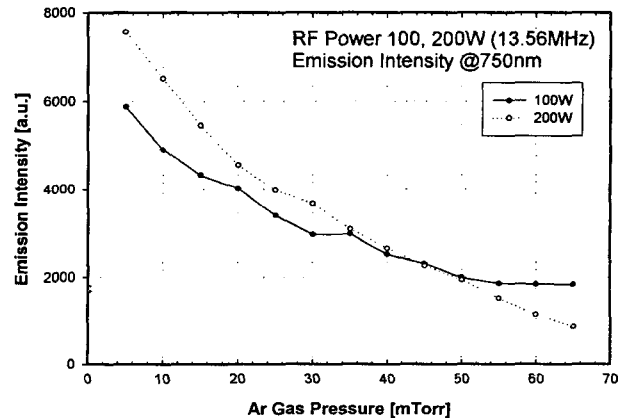
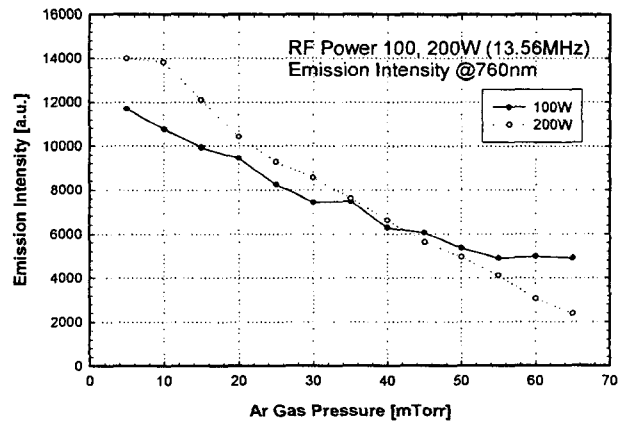


그림 2. Ar gas의 분광 spectrum.
Fig. 2. Spectrum of Ar gas.



(a) 750 [nm]



(b) 760 [nm]

그림 3. Ar gas의 emission intensity.
Fig. 3. Emission intensity of Ar gas.

3.2 RF power에 따른 광학적 특성

유도결합 플라즈마의 방전 모드가 E-모드에서 H-모드로 전환되는 현상을 알아보기 위하여 일정량의 Ar 가스 압력에서 Ar-I 라인 (750과 760 [nm])의 스펙트럼 세기의 변화를 광방출 분광법과 휘도계로 측정하였다. 챔버의 바깥, 원통형 RF 안테나의 중심축 바깥쪽 50 [mm] 지점에서 측정하였으며, 그 때의 세기는 방전관 중심축상의 원자들이 방출하는 빛을 적분한 값이다. 휘도는 방전관으로부터 1 [m] 거리에서 휘도계를 사용하여 측정하였다. 그림 4 (a)는 20, 40, 60 [mTorr]의 Ar 가스압력과 13.56 [MHz]의 RF 전력을 10 ~ 300 [W]로 점차적으로 증가시켜 인가하였을 때, 750 [nm]에서의 광세기를 나타낸다. 일정량의 Ar 가스 압력에서 RF 전력을 점차적으로 증가시키면 광세기가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 방전이 E-모드에서 H-모드로 전환되었음을 보여준다. 모드전환이 이루어진 후 RF 파워를 증가시키면 큰 변화없이 완만하게 emission intensity값이 증가한다. 모드 전환이 일어난 RF 전력의 크기는 Ar 가스의 압력이 20, 40, 60 [mTorr]일 때, 각각 15, 25, 40 [W]로 Ar 가스의 압력이 낮을 수록 모드 전환 RF 전력도 낮게 관측되었다. Ar-I 라인의 세기는 전자 밀도에 1차적으로 비례하므로, 빛의 세기의 급격한 증가는 플라즈마 밀도의 급격한 증가를 의미한다.

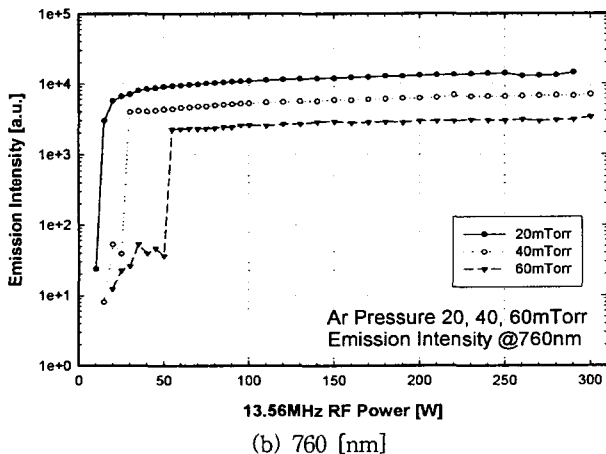
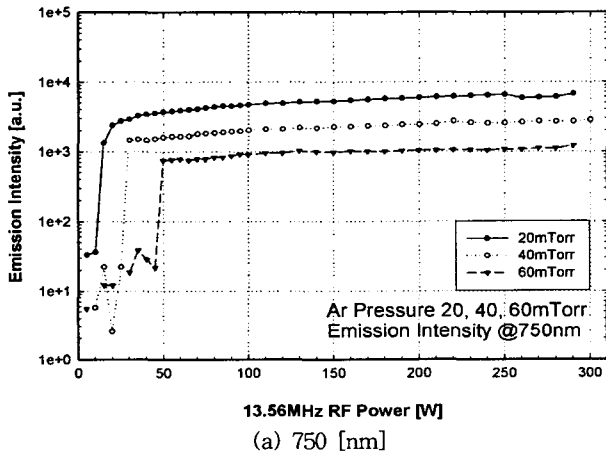


그림 4. Ar Gas 압력과 RF 전력 변화에 따른 emission intensity.
Fig. 4. Emission intensity as a function of RF power variation for each gas pressure.

그림 4 (b)에서는 그림 4 (a)와 같이 유사하게 760 [nm]에서 E-모드에서 H-모드로의 전환점이 관측되었다. 모드 전환이 일어난 RF 전력의 크기도 15, 25, 40 [W]로 750 [nm]와 같이 Ar 가스의 압력이 낮을 수록 모드 전환 RF 전력도 낮게 관측되었다.

그림 5는 RF 전력 변화에 따른 휘도의 변화를 측정한 것으로서, Ar-I의 변화와 같이 E-모드에서 H-모드로 전환되는 모드 전환점에서 휘도가 증가하였다. 20 [mTorr]에서는 Ar-I과 같이 급격하게 휘도가 증가하였으나 40과 60 [mTorr]에서는 급격하지는 않지만 많은 변화율이 측정되었다.

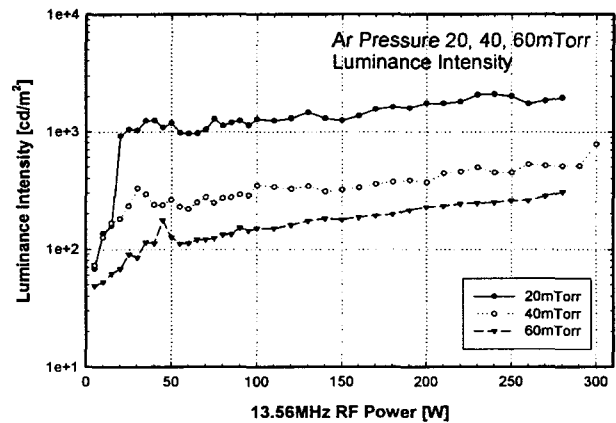


그림 5. Ar gas 압력과 RF 전력에 따른 Ar-I 라인인 750 [nm]의 휘도.
Fig. 5. Luminance (Ar-I 750 [nm]) as a function of Ar pressure and RF power.

4. 결 론

본 논문에서는 유도 결합형 방전인 H-방전 중 Ar가스의 E-모드에서 H-모드로의 모드 전환에 대하여 조사하였다. Ar 가스 압력과 RF 전력 변화에 따른 유도결합형 플라즈마의 광방출 분광과 휘도를 측정하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라즈마가 생성된 후 RF 전력을 증가시키면 Ar-I 라인의 세기는 Ar 가스 압력에 따라 각기 다른 RF 전력에서 빛이 갑자기 증가하는 E-모드에서 H-모드로의 모드 전환을 관측할 수 있었으며, 휘도 측정에서도 모드전환점에서 휘도가 증가하였다.
- 2) 스펙트럼, 휘도 측정에서 모드 전환점이 일치하였다. 또한, Ar 가스 압력이 증가할수록 모드 전환 RF 전력이 증가하는 것을 관찰하였다.

감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 “직관 및 환경형 무전극 형광램프의 구조 설계기술” 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] U. Chittka, "Electrodes for gas discharge", Applied Surface Science, Vol.111, p.302, 1997.
- [2] D.O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting", IEE Proceedings A, Vol.140 Issue:6, Nov., p.465, 1993.
- [3] 林泉, "플라즈마 공학", 朝倉書店, p.19, 1987.
- [4] F. Whitney, "Measurements of Inductively Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen Properties", Conference Record of the 1994 IEEE, Vol.3, p.1998, 1994.
- [5] J. Amorim, H.S. Maciel, and J.P. Sudano, "High-density plasma mode of an inductively coupled radio frequency discharge", J. Vac. Sci. Tech., B9, p.362, 1991.

저 자 소 개



허인성(許寅盛)

1978년 2월 25일생. 2003년 원광대학교 전기전자및정보공학부 졸업. 2003년 현재 원광대학교 공대 전자재료공학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : herinsung@yahoo.co.kr



김광수(金光洙)

1974년 12월 6일생. 2002년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2002년~현재 원광대 공대 전자재료 공학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : kimsybun@wonkwang.ac.kr



조주웅(趙胄雄)

1975년 5월 27일생. 2003년 원광대학교 자연대 물리학과 졸업. 2003년 현재 원광대학교 공대 전자재료 공학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : afkl1@hanmail.net



최용성(崔龍成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~현재 원광대학교 공업기술개발연구소 교수.

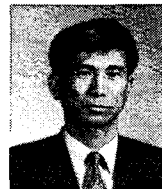
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : biochips@wonkwang.ac.kr



이영환(李永煥)

1959년 12월 24일생. 1982년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년~1994년 LG산전 근무. 2003년 현재 원광대학교 공대 전자재료 공학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : lyh201@wonkwang.ac.kr



박대희(朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonnms.wonkwang.ac.kr