

레이저 흡수 분광법을 이용한 He-Ne-Xe 삼종가스의 외부전극 램프의 1s₄ 공명준위와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도에 대한 연구

정세훈¹·오필용¹·이준호²·조광섭¹·최은하^{1*}

¹광운대학교 전자물리학과 / PDP 연구센터, 서울 139-701

²삼성 SDI, 천안 330-300

(2006년 10월 27일 받음)

본 논문에서는 수은 램프를 대체하기 위하여 제논 기체를 사용한 무수은 램프를 제작하여 제논 여기종 밀도에 대한 연구를 진행하였다. 진공자외선을 방사할 수 있는 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 레이저 흡수 분광법을 사용하여 다양한 기체조건 및 방전전류에 따라서 측정하였다. 우리는 주어진 압력에서 방전전류에 따른 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 측정하였으며 이러한 기본적인 방전 특성의 이해는 EEFL 뿐만 아니라 플라즈마 디스플레이에서도 발광 효율을 높이는 데 매우 큰 기여를 할 것이다.

주제어 : 레이저, 흡수분광법, 외부전극램프, 여기원자밀도, 준안정준위, 공명준위

I. 서 론

발광 효율의 증가 및 개선은 모든 디스플레이 장치에서 매우 중요하다. 플라즈마를 이용한 디스플레이 장치에서는 플라즈마를 통하여 생성되는 진공자외선이 형광체를 여기시켜 가시광선을 방사하기 때문에 방전을 통하여 형성되는 진공자외선의 강도는 발광 효율과 직접적인 관계를 가지고 있다. 제논에 있어서의 진공자외선의 방출은 공명준위의 제논이 바닥상태로 천이하면서 147 nm의 진공자외선을 방사하고 준안정준위의 제논은 3체 충돌(3-body collision)을 통하여 형성되는 Xe₂^{*} 이 바닥상태로 천이하면서 173 nm의 진공자외선을 방사한다 [1,2,3]. 우리는 진공자외선의 근원이 되는 제논의 여기종을 레이저 흡수 분광법을 이용하여 연구하였다. 본 논문에서는 제논 플라즈마에서 방출되는 진공자외선인 147 nm, 173 nm와 상관성을 가지는 828 nm 및 823 nm의 근적외선을 이용하여 제논의 하준위에서의 흡수 신호를 관측하여 밀도를 계산하였다.

II. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험을 위해 직접 제작되어 사용된 EEFL (External Electrode Fluorescent Lamp)을 보여준다. EEFL의 안쪽 직경은 2 mm 이며, 바깥쪽 직경은 2.6 mm

이다. EEFL의 길이는 11 cm이며, 외부전극의 너비는 15 mm이다. 또한 전극간의 거리는 9 cm이다. 6개의 EEFL 내부에는 He-Ne(26.3 %) -Xe(4.2 %)의 혼합기체가 각각 10, 30, 50, 80, 130 및 155 Torr의 압력으로 채워져 있다. EEFL의 구동은 LCD(Liquid Crystal Display)에 이용되는 인버터(inverter)를 사용하였으며 전압과 전류의 확인을 위해 인버터의 직류 전원부에 전압 및 전류계를 연결하여 실험간 확인하였다. 또한 실험간 구동 주파수는 60 kHz의 동일조건으로 구동되었다. 실험에서 사용된 근적외선 레이저 조사빔은 그림 1과 같이 EEFL의 중앙을 통과하여 여기종 밀도를 측정 하였

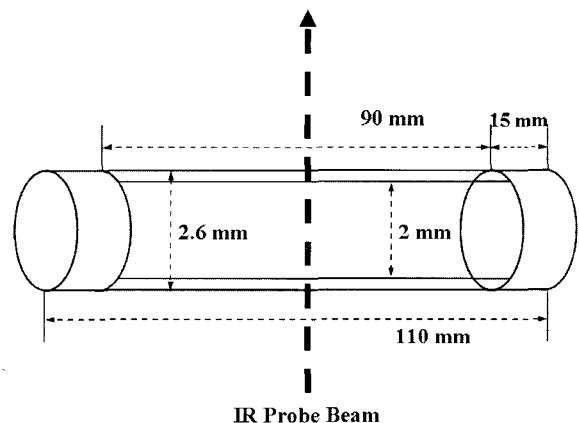


그림 1. EEFL의 모습

* [전자우편] ehchoi@kw.ac.kr

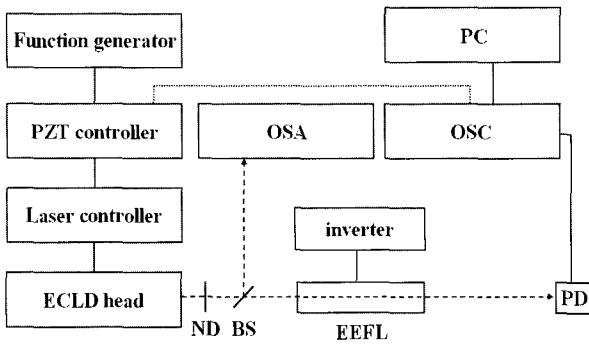


그림 2. 레이저 흡수 분광 실험 장치도

다. 그림 2는 제논 여기종 밀도 측정을 위한 레이저 흡수 분광 실험 장치도이다. 레이저 시스템은 전류 조절장치, 온도 조절장치 및 피에조(piezo) 조절장치로 구성되어 있다. 피에조를 이용한 파장가변은 중심주파수를 기준으로 0.036 nm/V 만큼 가변 할 수 있다.

레이저 시스템의 외부 공진기에서 방출된 레이저 조사빔은 ND(Neutral Density) 필터를 거쳐 BS(Beam Splitter)에 의해 두 개의 경로를 가지고 진행한다. 한 쪽 경로는 최대흡수파장 관측을 위해 OSA(Optical Spectrum Analyzer)로 입사하며, 다른 빔의 경로는 직진하여 측정 대상인 EEFL을 지나 PD(Photo Diode)로 입사하며 EEFL 내에 생성된 제논 플라즈마의 준안정준위, 또는 공명준위에 흡수된 빔의 변화를 관측하게 된다. 이러한 빔의 주파수 튜닝(tuning)에 의한 흡수의 변화는 Beer의 법칙을 기본으로 한다.

147 nm의 진공자외선을 내비칠 수 있는 공명준위인 1s₄상태의 제논 원자는 그보다 상위 준위와 828 nm에 해당하는 에너지 차이를 가진다. 또한 173 nm의 진공자외선을 내비칠 수 있는 여기 상태의 제논 분자(excimer)는 준안정준위인 1s₅ 상태의 제논 원자가 3체 충돌을 통하여 형성되며 이러한 준안정준위의 1s₅상태의 제논 원자는 그보다 상위 준위와 823.1 nm에 해당되는 에너지 차이를 가진다 [1,2,3]. 이 실험에서는 레이저 흡수 분광법을 사용하여 1s₄, 1s₅상태의 제논 원자의 밀도를 관측하기 위하여 820 nm에서 830 nm까지 파장을 자유롭게 가변 할 수 있는 파장 가변 반도체 레이저를 사용하였다. 또한 레이저 조사빔의 최대 흡수파장을 실시간으로 관측하기 위해 0.01 nm의 분해능을 가지는 광스펙트럼 분석기(OSA ; Agilent 86142B)를 사용하였다.

하준위 밀도의 계산은 식(1)을 이용하였다.

$$N_1 = \int k(\nu) d\nu \frac{8\pi g_1}{\lambda^2 g_2} \tau \quad \text{식(1)}$$

$k(\nu)$ 는 레이저 조사빔이 일정 파장으로 입사될 때 레이저가 통과한 단위 길이당의 흡수율(absorption coefficient)을 나타내며, $\int k(\nu) d\nu$ 는 레이저 조사빔의 파장 변화에 따른 흡수율을 전 파장 구간에 대하여 적분한 값이다. λ 는 최대 흡수가 발생하는 레이저 조사빔의 중심 파장이며 g_1 및 g_2 는 각각 하준위와 상준위의 통계적 가중치(statistical weights)를 나타낸다. 또한 τ 는 상준위에서 하준위로 자연방사 천이되는 아인슈타인 상수 A_{21} 즉 천이진폭(transition amplitude)의 역수이다 [4].

III. 실험결과 및 분석

He-Ne-Xe의 혼합기체가 10 Torr에서 155 Torr까지 다양한 압력으로 채워져 있는 EEFL에서 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 레이저 흡수 분광법을 이용하여 측정하였다. 다음 그림 3과 4는 각기 다른 램프에서 방전 전류가 가장 적게 흐르는 지역에서의 흡수율을 관측한 그래프이다. 그림 3은 10 Torr에서 130 Torr까지의 압력에서 주파수에 따른 제논의 1s₄ 공명준위의 흡수계수를 보여준다. 그림에서 압력의 증가에 따라 선평퍼짐이 더 넓어지는 현상을 관측할 수 있는데 이는 가스 원자들 간의 상대적인 속도차에 의해 진동수의 폭이 커지는 도플러 넓힘과 기체압의 상승으로 발생하는 압력 넓힘, 즉 로렌츠 넓힘의 효과이다 [5]. 155 Torr의 경우 이러한 선평퍼짐의 영향에 의하여 흡수신호를 관측하기 어려웠다. 압력이 높아짐에 따라 흡수계수는 감소하는 경향을 보였고 압력이 10 Torr에서 130 Torr로 증가함에 따라 FWHM(Full Width at Half Maximum)은 2.5 GHz에서 10 GHz로 증가하였다.

그림 4는 10 Torr에서 155 Torr까지의 압력에서 주파수에 따른 제논의 1s₅ 준안정준위의 흡수계수를 보여준다. 압력이 높아짐에 따라 흡수계수는 50 Torr까지 증가하다. 155 Torr까지 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 로렌츠 피팅(fitting)을 하였을 때 압력이 10 Torr에서 155 Torr로 증가함에 따라 FWHM은 2 GHz에서 9 GHz로 증가하였다.

그림 5는 다양한 압력에서의 방전전류에 따른 1s₄ 공

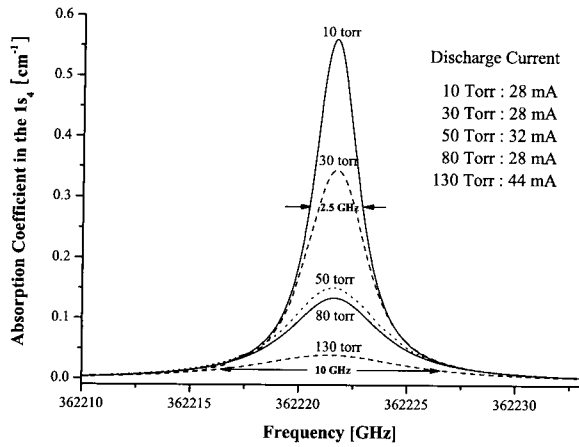


그림 3. 주파수에 따른 제논의 1s₄ 공명준위의 흡수계수

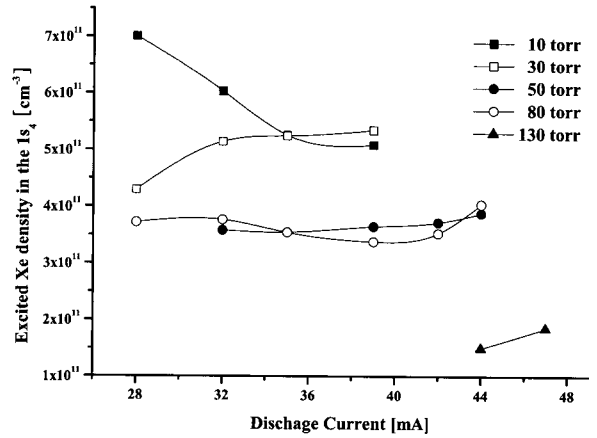


그림 5. 방전전류에 따른 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도

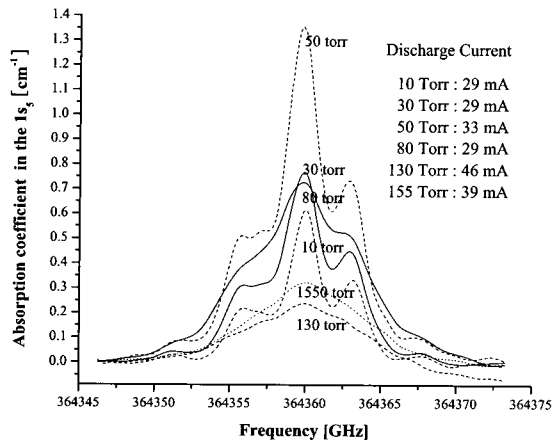


그림 4. 주파수에 따른 제논의 1s₅ 준안정준위의 흡수계수

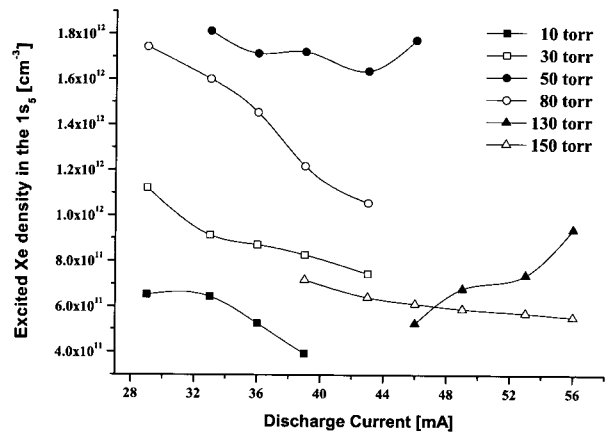


그림 6. 방전전류에 따른 1s₅ 준안정 준위의 제논 원자 밀도

명준위의 제논 원자 밀도를 보여준다. 10 Torr에서는 방전전류가 높아짐에 따라 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도가 점차 감소하였으며, 30 Torr부터 130 Torr까지는 방전전류와 상관없이 거의 같은 값을 가졌다.

그림 6은 10 Torr에서 155 Torr까지의 압력에서 방전전류에 따른 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 보여준다. 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도는 전체적으로 방전전류가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 구동회로의 인버터와 EEFL간의 임피던스 부정합에 따른 전력이송의 손실에 기인한 것으로 보인다.

그림 7은 39 mA로 고정된 방전전류에서 압력에 따른 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 보여준다. 압력이 증가함에 따라 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도는 $5.1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 에서 $3.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 로 감소하는 경향을 보였다. 이렇듯 압력이 증

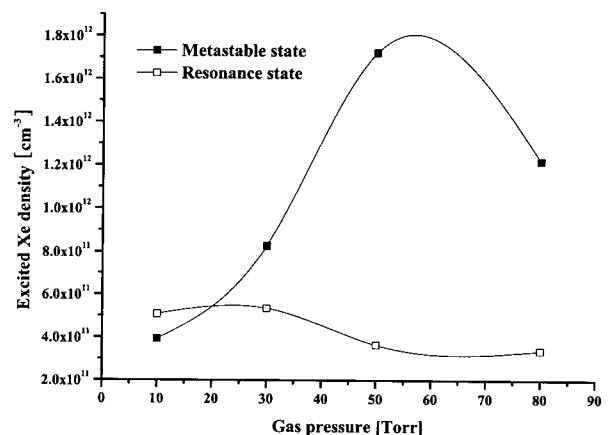


그림 7. 압력에 따른 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도와 1s₅ 준안정준위의 제논 원자 밀도

가 할수록 1s₄ 공명준위의 제논 원자 밀도가 감소하는

이유는 압력이 높아지면 전자의 평균자유행로(mean free path)가 줄어들고 공명 방사 갇힘(resonance radiation trapping)이 증가하기 때문이다 [6,7]. 또한 $1s_5$ 준안정준위의 제논 원자 밀도는 50 Torr의 압력까지 $1.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 으로 증가하다 그 이후로는 다시 감소하는 결과를 보여준다. 이는 50 Torr 이상에서는 방전 전압이 증가하게 되며 고정된 방전전류에 의해 플라즈마의 생성이 불안해지기 때문이다.

IV. 결 론

우리는 차세대 무수은 램프를 개발하기 위하여 현재 PDP(Plasma Display Panel)에서 사용되는 제논 기체를 EEFL에 적용하여 레이저 흡수 분광법으로 $1s_4$ 공명준위의 제논 원자 밀도와 $1s_5$ 준안정준위의 제논 원자 밀도를 측정하였다. 압력이 높아짐에 따라 충돌 주파수가 증가하여 FWHM은 $1s_4$ 공명준위와 $1s_5$ 준안정준위 모두에서 증가하는 것을 확인할 수 있었다. $1s_5$ 준안정준위의 제논 원자 밀도는 50 Torr의 압력까지 $1.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 으로 증가하다 그 이후로는 다시 감소하는 결과를 보여주었다. 일반적으로 비교적 높은 압력속의 제논 준안정 원자(Xe^*)는 제논 원자와 만나 들뜬 분자(Dimer Xe_2^*)를 형성한다. 이 들뜬 분자의 밀도는 압력이 50 Torr 일때 최대가 되어 이에 의한 173 nm VUV의 방출 강도가 최대가 되어 발광 효과에 지대한 영향을 미치며, 반면 제논 공명 원자의 밀도는 자기 자신의 방출 트래핑(trapping) 효과로 감소하며 이에 의한 발광효과는 감소하게 된다. 또한 일반적으로 제논 여기종의 밀도와 방출되는 VUV의 강도는 비례하는 관계가 있다. 따라서 본

실험에서는 50 Torr의 압력에서 제논 여기종의 생성에 대한 가장 좋은 결과를 얻었다고 할 수 있다.

감사의 말

본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] J. C. Ahn, T. Y. Kim, J. J. Ko, Y. Seo, G. S. Cho, and E. H. Choi, *J. Appl. Phys.* **87**, 8045 (2000).
- [2] E. H. Choi, J. C. Ahn, M. W. Moon, Y. Jung, M. C. Choi, Y. H. Seo, G. S. Cho, H. S. Uhm, K. Tachibana, K. W. Whang, and Kristiansen, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3341 (2002).
- [3] P. Y. Oh, J. H. Lee, S. H. Jeong, H. S. Moon, S. B. Lee, K. B. Song, Y. Jung, Y. K. Kim, G. S. Cho, H. S. Uhm, and E. H. Choi, *IEEE transactions on plasma science*, **34**, (2006).
- [4] K. C. Harvey and C. J. Myatt, *Appl. Phys. Lett.* **65**, 935 (1994).
- [5] Hans R. Griem, *Principles of Plasma Spectroscopy* (Cambridge University Press, 1997).
- [6] H. Doyeux and J. J. Deschamps, *SID '97 Digest*, 213 (1997).
- [7] S. Mikoshiba and S. Murayama, *Appl. Phys. Lett.* **37**, 529 (1980).

Laser absorption spectroscopy of ternary gas mixture of He-Ne-Xe in External Electrode Fluorescent Lamp (EEFL)

S. H. Jeong¹, P. Y. Oh¹, J. H. Lee², G. S. Cho¹, and E. H. Choi^{1*}

¹*Charged Particle Beam and Plasma Lab. / PDP Research Center Department
of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701*

²*Samsung SDI, Cheonan 330-300*

(Received October 27, 2006)

Mercury-free lamp, external electrode fluorescent lamp (EEFL) which includes the xenon gas, is now going on the research for the replacement of mercury lamp. The densities of excited xenon atom in the $1s_4$ resonance state and the $1s_5$ metastable state are investigated in the EEFL by a laser absorption spectroscopy under various gas pressures. We have measured the absorption signals for both $1s_4$ resonance and the $1s_5$ metastable state in the EEFL by varying the discharge currents for a given pressure. This basic absorption characteristic is very important for improvement of the VUV luminous efficiency of the EEFL as well as plasma display panel.

Keywords : Laser, Absorption spectroscopy, EEFL, Excited atoms density, Metastable state, Resonance state

* [E-mail] ehchoi@kw.ac.kr