

TEA-CO₂레이저에서 CO의 함량측정에 의한 활성기체수명평가

럼영관, 윤두현

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《레이저에 대한 연구에 큰 힘을 넣어야 하겠습니다.》(《김정일선집》 증보판 제12권 367페이지)

활성기체분자들의 에네르기교환과정에 산생되는 CO와 O₂의 함량은 TEA-CO₂레이저의 출력과 효율, 안정성에 영향을 준다. 특히 O₂에 의하여 만들어지는 여러가지 질소산화물들은 방전을 불안정하게 하므로 O₂의 함량이 일정한 한계를 넘어서기 전에 활성기체를 교체한다. 이때 활성기체교체시간이 될수록 길어지도록 하는 문제와 활성기체를 교체하는 시간을 정확히 결정하는 문제가 제기된다. 그런데 초팀성충돌을 고려하지 않아도 입력에네르기가 작고 질소함량이 작은 경우에는 큰 차이가 없다. 그러나 대출력인 경우에는 초팀성충돌을 무시할수 없다.

우리는 N₂이 적게 들어있는 활성기체인 경우에 초팀성충돌을 고려하여 CO의 함량과 활성기체교체시간을 보다 정확히 결정하는 방법을 고찰하였다.

N₂분자가 많이 들어있는 TEA-CO₂레이저의 빛임펄스는 100ns정도의 너비를 가진 봉우리와 수 μ s정도로 지속되는 꼬리를 가진다. 상대적으로 긴 꼬리부분은 려기된 N₂분자들이 CO₂분자들에 에네르기를 넘겨주는 V-V과정을 반영한다. 이것은 N₂분자가 많을수록 꼬리가 길어진다는것을 의미하며 레이저출력이 높은 봉우리부분만을 필요로 하는 경우에 에네르기적으로 불합리하다. 따라서 보다 짧은 임펄스를 얻자면 질소의 함량을 줄여야 한다. 그러나 그러한 방법은 레이저효율을 많이 떨구는 결과를 가져오므로 적당한 효율로 레이저발진을 실현시키면서도 꼬리부분이 거의 없는 짧은 레이자임펄스를 발생시키는 문제가 제기된다. 이 문제를 해결하자면 활성기체속에서 N₂의 함량이 CO₂함량에 비하여 적어야 한다.[1] 그러나 활성기체속에서 CO₂의 함량이 많아지게 되면 미광방전과정에 전자와 CO₂분자들이 충돌하여 CO와 O₂로 해리된다. 방전구역에 O₂이 0.2%이상 존재하면 호광방전을 일으키며 레이저의 출력을 저하시킨다.[2] 그러므로 TEA-CO₂레이저에서 기체의 안정한 동작수명은 레이자동작의 안정성을 파괴하는 호광방전이 나타날 때까지 O₂이 기체혼합물속에 축적될수 있는 턱값시간으로 볼수 있다.

반복임펄스동작형레이저에서 CO와 O₂이 생겨나는 량과 속도는 입력에네르기와 주파수, 기체조성비, 예비이온화의 형태에 따라 결정된다. 여기서 문제로 되는것은 대기중의 산소가 레이자발진기안에 들어올수도 있고 이미 동작한 기체를 완전히 교체하지 못하여 나머지산소가 남아있을수도 있기때문에 산소함량에 대한 측정을 통하여 CO₂의 해리를 정확히 나타내지 못하는것이다.

우리는 리용된 기체에 물성분이 $5 \cdot 10^{-4}\%$ 이하로 들어있다고 보고 물분자가 있을 때 해리된 CO와 O₂에 의한 CO₂의 재생은 무시하였다. 따라서 호광방전이 없이 레이자발진기를 오랜 시간 동작시키자면 촉매를 리용하여 CO와 O₂을 화학결합시켜 CO₂을 재생하든

지 일정한 속도로 활성매질을 새것으로 교체하는 방법으로 O₂의 함량을 호광방전이 일어나기 전까지의 턱값으로 제한하여야 한다.

CO₂레이저방전에서 주되는 해리는 CO₂분자와 전자의 중성충돌에 의하여 일어난다.



여기서 K_d 는 해리결수로서 CO₂의 함량이 볼츠만방정식을 만족할 때 전자에너기분포함수(EEDF)로부터 구할수 있다.

기체조성비(CO₂ : N₂ : He)가 1 : 0.5 : 5인 경우 CO₂의 해리결수를 E/N 의 함수로 계산한 결과는 그림과 같다.

그림에서 보는바와 같이 초립성충돌을 고려하여 해리결수를 계산한 결과는 선행연구결과[4]와 거의 일치한다.

이로부터 방전과정에 단위체적당 해리된 CO₂분자의 수는 다음과 같다.[3]

$$X = \int_0^{\tau_p} K_d N_e N_{\text{CO}_2} dt \quad (2)$$

여기서 N_e 와 N_{CO_2} 은 전자와 CO₂의 분자수밀도이고 τ_p 는 방전전류임펄스지속시간이다.

전자밀도 N_e 는 방전전류에 관한 다음의 식으로부터 구할수 있다.

$$N_e = \frac{I_d}{eAU_d} \quad (3)$$

여기서 A 는 전류가 흐르는 방전가로자름면적이다. U_d 는 EEDF로 계산한 E/N 의 함수로 표시되는 흐름속도이다.

임펄스당 해리된 CO₂분자의 수는 생겨난 CO분자의 수와 같다. 레이저발진기안에서 CO의 함량(N_{CO})이 시간에 따라 변하는 속도와 초립성충돌을 고려하여 활성기체교체시간을 결정하면 다음과 같이 표시된다.

$$T_p = \frac{N_{\text{CO}}}{\frac{XfV_d}{V_L} - \frac{dN_{\text{CO}}}{dt}} \quad (4)$$

여기서 V_d 와 V_L 은 각각 방전 및 레이저활성구역의 체적, f 는 주파수, T_p 는 기체교체시간이다. 다시말하여 T_p 는 레이저활성구역에서 리용된 기체혼합물을 완전히 교체하는데 걸리는 시간이다.

레이저체계가 호광방전이 없이 안정하게 동작하자면 CO의 농도가 0.5%(O₂은 0.25%) 이하로 되여야 한다.[1]

이 값을 식 (4)에 넣고 활성기체교체시간 T_p 를 구하면 약 12min이다. 이 값은 선행결과[4]와 비교적 정확히 일치한다.

따라서 임펄스당 해리된 CO₂분자의 수(X)를 정확히 알고있는 경우 활성구역안에서 활성기체교체시간을 정확히 예측할수 있다.

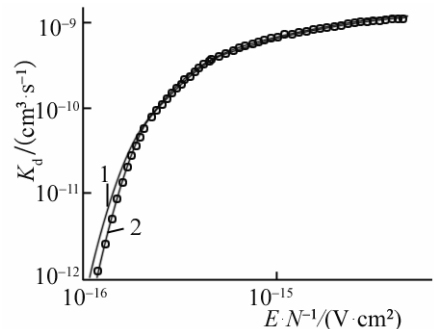


그림. CO₂의 해리결수를 E/N 의 함수로 계산한 결과

1, 2는 서로 다른 입력에너기에서 계산한 결과[4], O는 논문에서 계산한 결과

맺 는 말

N_2 이 적게 들어있는 활성기체인 경우 초탐성충돌항을 고려하여 TEA-CO₂레이자의 활성기체교체시간을 보다 정확히 결정하였다.

참 고 문 헌

- [1] Jijiang Xie et al.; Optics and Lasers in Engineering, 50, 159, 2012.
- [2] M. Kumar et al.; Applied Physics, B 80, 7, 57, 2005.
- [3] Qu Yanchen et al.; Applied Optics, 41, 24, 5025, 2002.
- [4] A. Forbes et al.; Chemical Lasers and High Power Lasers, 6346, 634462, 2007.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

Estimation of the Lifetime of Active Gas by Quantity Measurement of CO in TEA-CO₂ Laser

Ryom Yong Gwan, Yun Tu Hon

We proposed a method to determine the replacing moment of active gas in the TEA-CO₂ laser by calculating the dissociation rate of CO in consideration of super collision.

Key words: TEA-CO₂ laser, composition of active gas, dissociation of CO₂