

다중도선 코로나 선전리형 TEA CO₂ 레이저 증폭기의 증폭특성
 Amplification Characteristics of Multiple-Wire Corona
 Preionization type TEA CO₂ Laser

임 창문*, 김 기호, 이 상수
 (한국과학기술원, 물리학과)

ABSTRACT

Two-stage TEA(transversely excited atmospheric pressure) CO₂ laser amplifier system, Amp I and Amp II are constructed and their amplification characteristics are investigated theoretically and experimentally.

Multiple-wire corona preionization method is used for uniform discharge in laser oscillator and amplifiers. At optimum gas ratio, CO₂ : N₂ : He = 1 : 1 : 3, output pulse energy of the oscillator is 0.4J and finally two-stage amplification gives 1.5J output energy which is larger than pumping threshold of para-H₂ Raman laser.

The rate equations of the amplifiers are solved numerically, and the results are compared with the experimental results. In conclusion, the small signal gain coefficient of AMP I is 0.025/cm and that of AMP II is 0.02/cm.

사하였다. 발진기는 전반사경을 이용하였으므로 gain이 가장 큰 10P(20) line 즉 10.6 μ m로 발진한다. 이때 방전이 일어나는 단면의 몇가지 위치에서 에너지 이득을 측정하여 그 분포를 확인하였으며 그 분포가 전극의 형에 따라 다름을 보였다. 그리고 TEA CO₂ 레이저 증폭기에서의 rate equation을 수치해산하여 증폭기 입사펄스의 에너지에 따른 에너지이득을 구하여 실험결과와 비교함으로써 증폭기의 소신호 이득계수를 구하였다.

1. 서 론

1970년 A. J. Beaulieu^[1]에 의해 pin-resister type으로 대기업에서 동작하는 TEA CO₂ 레이저가 발진된 이후 방전방식의 개량에 의해 그 효율이 크게 개선되어왔다. 이중 강한 전장에 의해 u.v.를 방출하는 코로나방전을 주방전 전에 선행시키는 이중방전방식^{[2],[3]}은 별도의 보조방전 회로가 필요없이 균일방전을 얻을수 있고 장치가 간단하면서도 대칭적인 전극의 구조로 펄스의 재현성(reproducibility) 과 성질이 우수하여 작은 크기나 중간크기의 레이저에 많이 이용되는 방식이다. 본 실험실에서는 몇가지 보조방전 전극을 이용한 TEA CO₂ 레이저를 제작하여 그 특성을 조사한 바 있으며 이때 여러개의 구리도선을 보조전극으로 이용한 다중도선 코로나 선전리형이 가장 좋은 특성을 보인 바 있다.^[4] 본 연구는 이러한 발진기와 같은 방식의 두가지 전극을 이용한 두대의 증폭기를 제작하여 발진기에서의 레이저 펄스를 증폭하고 그 특성을 조

2. 실험

그림1과 같은 전극을 사용하는 증폭기 두대 (Amp I, II)가 제작되었다. 다중도선 코로나 선전리는 홈(폭:4mm, 길이:2mm, 간격:1.5mm)이 파인 양전극과 pyrex tube에 끼워진 구리도선 여러개 사이에서 일어나게 된다. 발진기와 Amp II는 평평한 알루미늄판에 각기 11개와 16개의 홈이 파였으며, Amp I은 k= 0.02인 Chang profilic^[5]에 4개의 홈이 파여있다. 음전극은 발진기에서 k= 0.1 인 Chang profilic이, 그리고 Amp I, II에서 k= 0.02인 Chang profilic이 이용되었다. 방전관은 두께 2.5cm인 아크릴로 제작하였고(내부채적: 10x7x80 cm³), 양쪽 끝에 4cm 직경의 구멍을 내고 bellows를 이용하여 NaCl window나 거울을 부착하여 광의 align이 가능하게 하였다. 기체공급은 발진기와 증폭기들에 별도의 장치를 통해 이루어져서 모두가 적절한 기체혼합비에서 방전이 이루어 지도록 하였다.

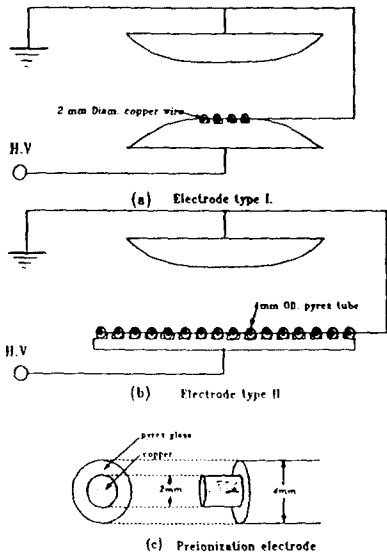


그림 1. 레이저 증폭기들에 이용된 전극의 개략도.

하나의 변압기에 의해 발진기와 증폭기의 Marx bank가 충전되고 그림2의 스파크 갭에 trigger 신호가 주어지면 피크전압 40kV의 펄스가 전극 사이에 인가된다. 이때 입력 전기에너지는 16J 정도가 된다.

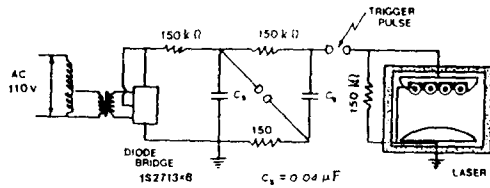


그림 2. 레이저 증폭기들에 전압펄스를 공급해 주는 2단계 Marx generator.

발진기는 곡률 10m, 반사율 98%인 금코팅된 전반사경과 곡률 10m, 반사율 75%인 ZnSe 출력경으로 이루어져 있으며, 이때 pyroelectric detector(molelectron P5-01)를 translator위에 장착하여 출력 펄스의 profile을 조사하고 이로부터 유효한 빔의 면적을 계산하여 출력 펄스의 에너지 플루언스를 알수있게 하였다. 증폭기에 입사하는 레이저 펄스와 증폭되어 나온 펄스의 에너지를 에너지 미터로 받아 그 에너지이득을 구하였으며, detector로 그 파형을 조사하였다. Amp I, II에서 1 pass로 광의 경로를 바꾸어 가며 에너지 이득을 측정하였고, 1 pass, 2 pass의 경우 입력 펄스 에너지를 ZnSe, NaCl등의 attenuator를 이용하여 변화시키면서 에너지 이득의 변화를 관찰하였다. 최종적으로 그림3과 같이 정렬하여 2단계 증폭실험을 수행하였다.

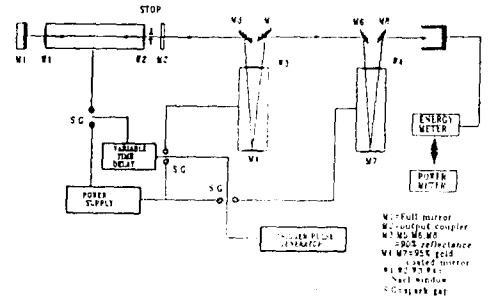


그림 3. 실험 장치도.

3. 실험 결과

a. 에너지 이득의 공간분포

Amp I, II에서 균일방전 모양을 찍은 사진이 그림4에 나타나 있다. 그림에서 Amp I, II는 각각 $2.15 \times 2 \times 40 \text{ cm}^3$, $3.25 \times 2 \times 40 \text{ cm}^3$ 의 유효체적 안에서 균일한 방전을 함을 알수있다. 따라서 단위방전체적당 입력전기에너지는 Amp I, II에 대해 각각 93J/l, 57.2J/l이다. Amp II는 큰 체적안에서 균일방전하므로 입력전기 에너지를 증가시키면 size가 큰 beam을 증폭시키는 데 효과적일것으로 보인다.

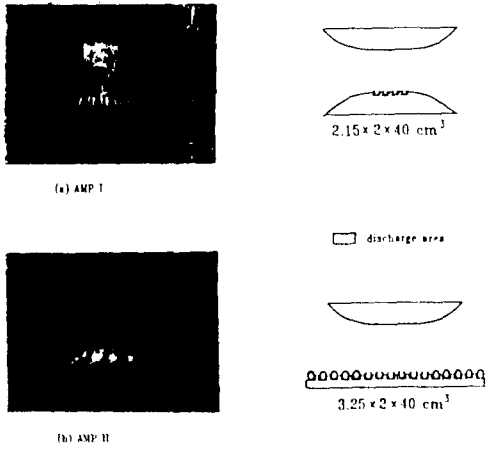
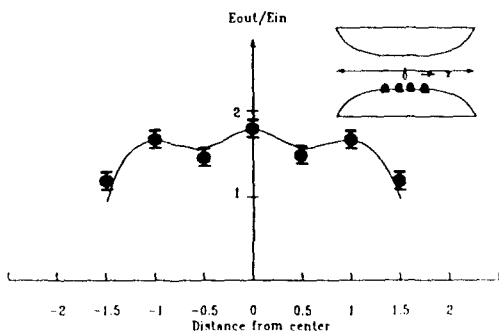
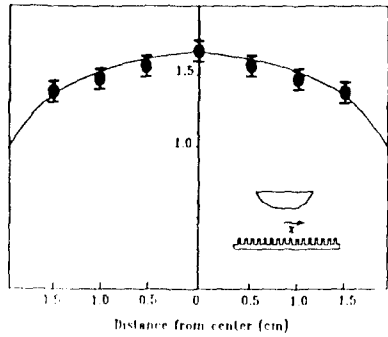


그림 4. 균일 방전의 단면 사진.

Amp I, II에 대해 광의 경로를 전극의 중앙에서부터 0.5 cm씩 움직이면서 1 pass 증폭시의 에너지 이득을 측정 한 결과가 그림5에 나타나있다. 그림5-a는 Amp I에 대한 결과로 에너지 이득이 방전영역안에서 거의 균일하게 나타나고 모서리 부분에서 이득이 조금 강화됨을 보인다. 이는 Domey^[6]의 결과와 비슷하다. 그림5-b는 Amp II에 대한 결과로 중앙에서 가장 크고 가장자리로 갈수록 줄어 드는것을 보인다. 이는 Dyer등^[7]의 결과와 유사하다.



a)



b)

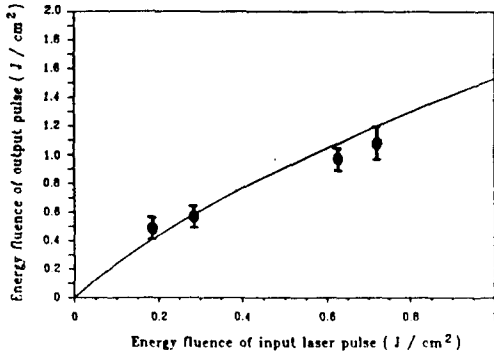
그림 5. 증폭기 단면에서 에너지 이득의 공간 분포. a) Amp I, b) Amp II

b. 1단계 증폭실험과 소신호 이득 계수

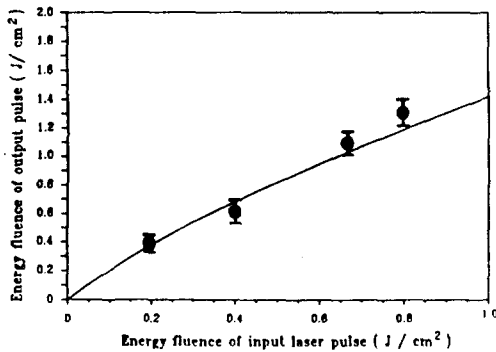
발전기에서 나오는 레이저 펄스의 공간 profile을 pyroelectric detector(P5-01)를 써서 측정하고 beam의 면적을 구하였다. beam diameter는 8.8 mm정도이고 그 면적은 0.6 cm²이었다. 이때 spectrum analyzer(Cpt. Eng.)로 레이저 발전기의 발전 line을 확인하였으며 10P(20) line만 발전함을 알수있었다.

Amp I과 II에서 1 pass로 레이저 펄스의 증폭실험을 수행하였다. 이때 ZnSe 나 NaCl 같은 attenuator를 beam이 증폭기에 입사하기전에 위치하여 증폭기에 입사하는 레이저 펄스의 에너지를 변화시키며 에너지 이득의 변화를 측정하였다. TEA CO₂ 레이저 매질에서 광 펄스의 증폭을 표현하는 rate equation은 G. T. Schappert등^[8]에 의해 주어졌으며, 이때 레이저 펄스의 펄스폭과 한 진동준위 안에서 여러회전준위들의 이환을 나타내는 회전충돌시간등의 변수에 대해 식을 컴퓨터를 이용 수치계산할수 있다. 광이 증폭기에 입사할시 초기의 밀도 반전량을 나타내는 소신호 이득 계수를 0.01/cm에서 0.025/cm까지 변화 시키며 입사 레이저펄스 에너지의 변화에 따른 에너지 이득의 이론곡선을 구하였다. 그림6에 실험결과를 이 이론 곡선에 fitting시켜 소신호 이득 계수를 결정한 결과가 주어져 있다. Amp I에서 그값이 0.025/cm, Amp II에

서 0.02/cm임을 알수있다.



a)



b)

그림 6. Amp I, II에서 single pass의 경우 입사펄스와 증폭된 펄스의 에너지 fluence 관계와 이론 계산 결과곡선. a) Amp I에서 실험결과를 소신호 이득계수 0.025/cm 로 fitting한 곡선. b) Amp II에서 0.02/cm에 fitting 한 곡선.

c. 2단계 증폭실험

최종적으로 그림3과 같이 Amp I과 II를 정렬하고 2단계 4 pass 증폭을 행하였다. 이때 입사펄스와 증폭되어 나온 펄스의 파형을 P5-01 detector로 받아서 오실로스코프로 판독하고 촬영하였다. 그결과가 그림7에 나타나있다. 그림은 증폭되기 전의 펄스폭과 증폭된 후의 펄스폭이 100 nsec정도의 값으로 큰

차이가 없음을 보이며 그 강도가 4.5배 정도 증폭되었음을 보이고 있다. 앞에서와 마찬가지로 입사 레이저 펄스의 변화에 따른 에너지 이득의 변화를 측정한 결과가 그림8에 나타나있다. 2단계 증폭에서 350mJ이 입사할때 최고로 1.5J의 펄스를 얻을수 있었다.

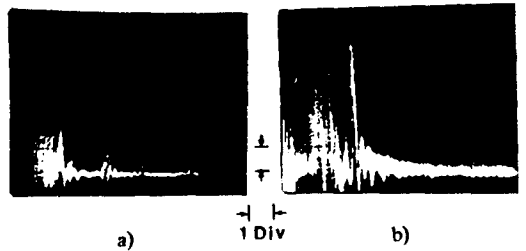


그림 7. 레이저 펄스의 모양 a) 입사 레이저 펄스 모양 (0.01/Div.), b) 증폭된 레이저 펄스 모양 (0.02/Div.), 시간 축은 1μsec/Div.

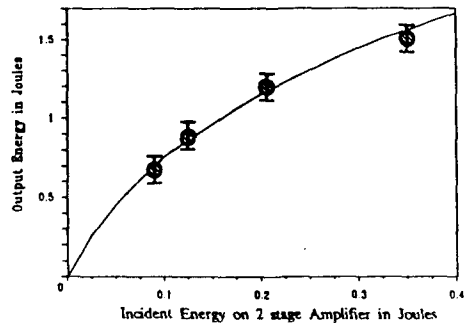


그림 8. 2단계 증폭 실험 결과.

4. 결 론

다중도선 코로나 선전리형 TEA CO₂ 레이저 증폭기 두대 Amp I, II를 제작하였다. 증폭기 내에서 에너지 이득의 공간적인 분포를 실험하였으며 1 pass 증폭실험의 결과와 이론적 계산 결과를 비교하여 두 증폭기의 소신호 이득 계수를 구하였다. 그 값은 Amp I에서 약 0.025/cm, Amp II에서 약 0.02/

cm이었다. 이 값들은 입력전기에너지가 아주 작은 경우이므로 보다 큰 capacitor를 사용한다면가 하여 입력전기에너지를 크게함으로써 이보다 훨씬 큰 값을 얻을수 있을것으로 기대된다.

Reference

1. A. J. Beaulieu, Appl. Phys. Lett. 16, 504 (1970)
2. Y. L. Pan, A. F. Bernhardt, and J. R. Simpson, Rev. Sci. Instrum. 43, 662 (1972)
3. A. K. Laflamme, Rev. Sci. Instrum. 41, 1578 (1970)
4. 김 기호, 석사학위청구논문 (한국과학기술원, 서울, 1988)
5. T. Y. Chang, Rev. Sci. Instrum. 44, 405 (1973)
6. J. Domey, Rev. Sci. Instrum. 46, 811 (1975)
7. P. E. Dyer, D. J. James, and S. A. Ramdsen, J. Appl. phys. 44, 2408(1973)
8. G. T. Schappert, Appl. Phys. Lett. 33, 319 (1973)