

보조 전극에 의한 기체방전 레이저의 출력안정화

신동주, 정영봉, 이인원
한국표준연구소 광학연구실

초 록

보조전극을 사용하여 전기방전을 궤환 조절하여 연속출력 탄산가스 레이저의 출력을 안정화 하였다. 보조전극은 양극과 접지되어 있는 음극사이에서 음극근처에 설치하였으며 레이저 출력을 HgCdTe-detector로 측정하여 레이저 출력의 요동에 따라 보조전극에 인가되는 전압이 변화되도록 하였다. 보조전극을 사용하여 레이저 출력을 안정화시킨 결과 레이저 출력의 요동은 안정화하지 않았을때의 레이저출력 요동의 1/10 이하로 감소하였다.

서 론

기체 방전 레이저에서 레이저 출력의 요동은 주로 방전조건, 기체조건 및 공진기 조건의 변화에 의해서 일어난다. 이러한 레이저 출력의 요동을 안정화하기 위해서는 반응시간이 빠른 레이저 출력 조절 방법이 필요하다. 이론적으로는 레이저 출력의 요동을 일으키는 조건들을 조절하여 레이저 출력을 안정화할 수 있으나 기체조건의 조절은 반응시간이 늦기 때문에 레이저 출력의 요동을 안정화하기에는 적합하지 않다. 이에 비해서 공진기 조건 또는 방전 조건의 조절은 반응시간이 짧기 때문에 레이저 출력 안정화에 주로 사용된다. 단일 파장의 기체방전 레이저의 경우에는 방전 impedance와 radiation field의 strong correlation을 이용하여 방전 impedance의 요동에 따라 공진기의 길이를 조절하거나 [1]-[3] 레이저 출력을 직접 측정하여 레이저 출력의 요동에 따라 공진기의 길이를 조절하여[4] 레이저 주파수 및 출력을 안정화하는 방법이 사용된다. 이들의 실험에서는 방전 impedance 또는 레이저 출력의 요동에 따라 laser mirrors중의 하나에 부착되어 있는 piezoelectric transducer(PZT)에 인가되는 전압을 조절하여 공진기의 길이를 조절함으로써 레이저 주파수와 출력을 안정화한다. 또한, 방전전원을 조절하여 방전전류를 항상 일정하게 유지하도록 하여 레이저 출력을 안정화 하는 방법도 사용되고 있다. 그러나, 고출력 기체방전 레이저의 경우에는 방전 전압이 높고 방전전류가 크기 때문에 레이저출력의 요동에 따라 방전 전원을 조절하여 레이저 출력을 안정화하기는 쉽지 않다.

본 논문에서는 연속출력 탄산가스 레이저에서 양극과 음극사이에 보조전극을 설치하고 레이저출력의 요동에 따라 이 보조전극에 인가되는 전압을 조절하여 레이저 출력을 안정화 할 수 있는 방법을 기술하였다. 보조전극은 방전전압과 전류보다 매우 낮은 전압과 전류에서 동작하기 때문에 궤환회로를 구성하는데 편리하며, 레이저출력의 요동을 직접 궤환 회로에 입력하여 레이저 출력요동의 원인에 관계없이 레이저 출력을 안정화할 수 있다.

실험 및 결과

Fig.1은 보조전극을 사용하여 전기방전을 궤환조절하여 레이저 출력을 안정화한 연속출력 탄산가스 레이저의 block diagram을 나타낸다. 본 실험에 사용된 연속출력 탄산가스 레이저는 양극과 음극사이의 길이가 117 cm 이고 음극은 접지되어 있으며 보조전극은 음극에서 양극쪽으로 5 cm 떨어진곳에 설치하였다. 모든 실험은 동일한 기체조건에서 수행되었으며 이때 최적 전류는 약 15 mA, 레이저출력은 약 5W로 측정되었다. Table 1은 궤환회로가 동작하지 않는 상태에서 방전전류 및 전기 입력과 레이저 출력의 관계를 나타낸다.

보조전원을 사용하여 보조 전극에 음전압(negative voltage)을 인가할 경우 Table 2에

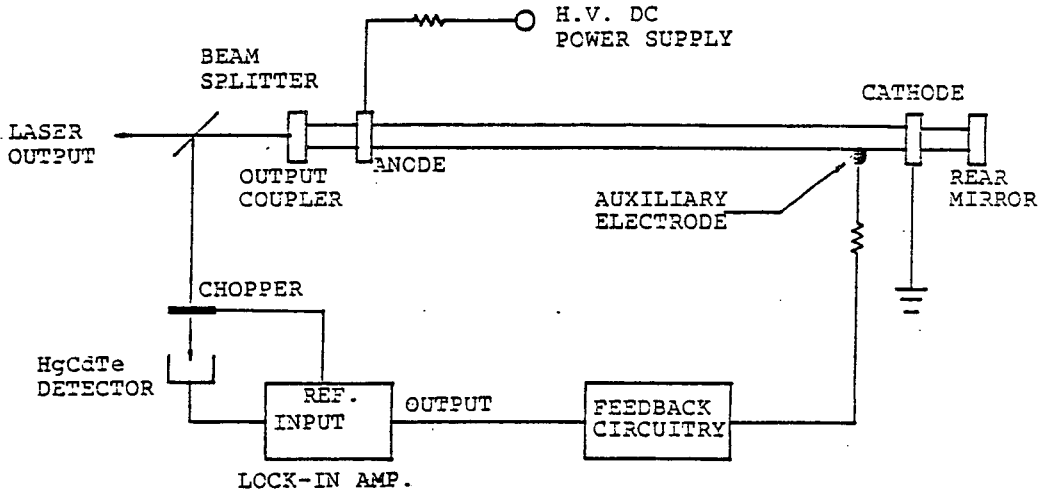


Fig. 1. Block diagram of the cw CO₂ laser system stabilized by the feedback control of the electrical discharge through an auxiliary electrode.

나타난바와 같이 음전압의 크기가 증가하면 방전전류와 전기입력이 증가하였다. 따라서, 레이저가 최적전류 이하의 전류에서 동작하고 있을 경우에는 음전압의 크기가 증가 하면 레이저 출력도 증가하였으며, 최적전류 이상의 전류 이상의 전류에서는 음전압의 크기가 증가 하면 레이저 출력은 감소하였다.

본 실험에서는 연속출력 탄산가스 레이저를 최적전류 이하의 전류에서 동작하도록 하고 궤환회로를 통하여 레이저 출력이 감소하면 보조전극에 인가되는 음전압의 크기를 증가 시키고 레이저 출력이 증가하면 음전압의 크기를 작게 하여 레이저 출력을 안정화하였다.

광 분리기 (ZnSe beam splitter)로 레이저 빔의 일부를 분리하여 HgCdTe-detector와 lock-in amp.로 측정하고 lock-in amp.의 출력 신호는 궤환회로에 공급되며 궤환회로에서는 기준전압(reference voltage)과 lock-in amp.의 출력신호를 비교하고 그차이(error voltage)를 증폭하여 보조전극에 인가되는 음전압의 크기를 조절하도록 하였다. 여기서 기준전압은 독립된 직류전원으로부터 공급되며 조절이 가능하도록 하였다.

보조전극에 인가되는 전압은 error voltage에 따라 0V (zero)에서 -400V까지 변화될 수 있도록 하였으며 이 음전압을 공급하는 보조전원의 용량은 방전전원 용량의 약 3%이었다.

Table 1. The laser output power vs. the electrical input power into the discharge tube. (The auxiliary electrode is not operated)

Discharge Current (mA)	Electrical input power (W)	Aux. electrode voltage (V)	Aux. electrode current (mA)	Laser power (normalized)
7.00	37.3	74	1.32	0.19
7.50	39.9	76	1.36	0.31
8.17	43.4	78	1.40	0.44
9.50	50.2	82	1.48	0.63
11.17	58.5	86	1.56	0.88
13.17	68.5	93	1.70	1.00
16.17	83.1	99	1.82	0.94
19.00	96.9	106	1.96	0.75
21.17	107.1	111	2.06	0.38

Fig.2와 Fig.3는 각각 안정화하지 않은 경우와 보조전극을 사용하여 안정화한 경우에 HgCdTe detector로 50초동안 측정된 연속출력 탄산가스 레이저의 출력을 나타낸다. 레이저 출력의 deviation은 안정화하지 않은 경우에 평균출력의 1.7%, 안정화한 경우에 0.16%로서 보조전극에 의한 안정화를 통해서 1/10 이하로 감소하였다.

Fig.4는 spectrum analyser로 측정된 레이저 출력의 요동 주파수에 따른 분포를 나타낸다. Fig.4에서 안정화를 통해서 낮은 주파수 (약 200 Hz 이하)의 출력요동이 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 2. The changes of the discharge current and electrical input power into the discharge tube versus the changes of the auxiliary electrode voltage.

Discharge Current (mA)	Electrical Input Power (W)	Auxiliary Electrode Voltage (V)	Auxiliary Electrode Current (mA)
3.17	43.8	80	1.44
3.50	45.8	-91	3.38
3.33	48.3	-237	4.64
9.00	50.5	-356	6.12.

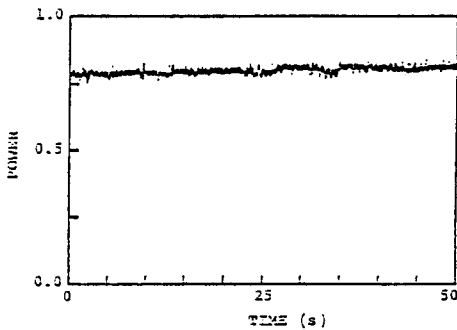


Fig. 2. CO₂ laser power without stabilization. (vertical scale : arbitrary unit)

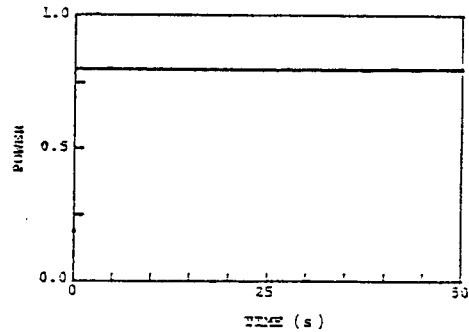


Fig. 3. CO₂ laser power stabilized by the feedback control of the electrical discharge through an auxiliary electrode. (vertical scale : arbitrary unit)

결 론

보조전극을 사용하여 전기방전을 궤환 조절 하여 연속출력 탄산가스 레이저의 출력을 안정화하였다. 보조전극에 의한 레이저 출력 안정화를 통하여 레이저 출력의 요동은 안정화 하지 않은 경우의 1/10 이하로 감소하였다.

이 방법은 방전 전원보다 매우 낮은 전압과 전류에서 동작하는 보조전극을 사용하여 레이저 출력을 안정화하는 방법으로서 모든 종류의 연속출력 기체 방전레이저의 출력 안정화에 이용될 수 있다.

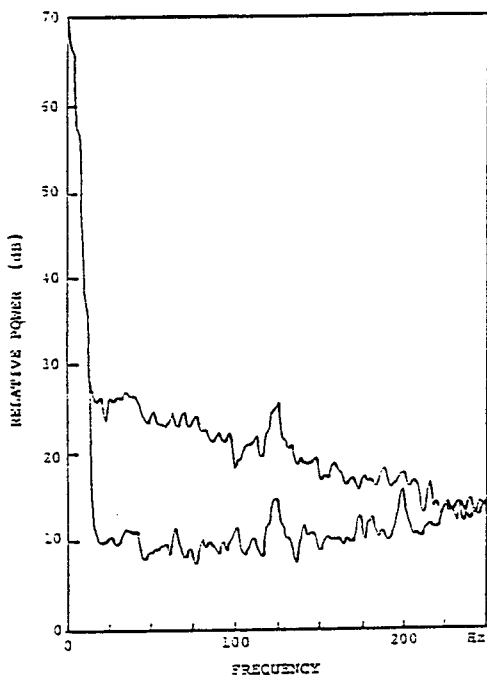


Fig. 4. Relative power distribution of the cw CO₂ laser vs. frequencies of the laser power fluctuations measured by a spectrum analyser for the case without stabilization (The upper curve) and for the case stabilized by the feedback control of the electrical discharge through an auxiliary electrode (The lower curve), respectively.

References

- [1] M.J. Kavaya, R.T. Menzies, and U.P. Oppenheim, "Optogalvanic stabilization and offset tuning of a Carbon Dioxide waveguide laser," IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-18, pp.19-21, Jan. 1982.
- [2] J.T. Shy and T.C. Yen, "Optogalvanic Lamb-dip frequency stabilization of a CO₂ laser," Opt. Commun., Vol. 60, pp.306-308, Dec. 1986.
- [3] R. Nowicki, E.F. Plinski, and J. Rzepka, "The use of discharge electric field variations to CO₂ laser stabilization," Opt. Commun., Vol. 53, pp.113-116, Feb. 1985.
- [4] M.W. Lund, J.N. Cogan, and J.A. Davis, "Low-cost method for stabilization of a CO₂ laser for use in far infrared laser pumping," Rev. Sci. Instrum., Vol. 50, pp.791-792, Jun. 1979.