

종방향 여기 방식과 표면방전에 의한 질소레이저의 동작 특성

이봉연[†]

충남대학교 기초과학연구소

Ⓣ 305-764 대전광역시 유성구 공동 220

(2005년 6월 21일 받음, 2005년 8월 29일 수정본 받음)

본 논문에서는 기존의 TE(transverse excitation) 방식과 달리 LE(longitudinal excitation) 방식을 사용하여 유전체 표면을 따라 발생하는 미끄럼 방전에 의해서도 질소레이저 발진이 가능함을 보였다. 이는 방전여기 방식인 엑시머 레이저 등의 기체 레이저에서도 미끄럼 방전을 이용한 레이저 발진이 가능함을 의미한다. 또한, 레이저빔의 형상이 공진기의 원둘레를 따라 발진이 되어 빔이 환 모양으로 출력이 됨을 보임에 따라 직사각형이나 타원형의 빔 등 폐곡선을 이루는 어떤 특정한 형태의 질소레이저 빔도 만들어 낼 수 있다는 가능성을 보였다. 레이저의 동작특성인 출력과 안정성은 TE 방식에 비해서도 뒤떨어지지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 공진기의 지름이 2배 증가하면 미끄럼 방전이 일어나는 표면이 2배, 체적은 4배 증가하여 그에 따른 방전간극과 유동률이 비례관계에 있음을 알 수 있었다.

주제어 : N₂ laser, Longitudinal excitation(LE), Sliding discharge, Beam shape of ring type.

I. 서 론

질소레이저는 1963년 H. G. Heard^[1]에 의하여 최초로 성공했으며, 1965년 D.A. Leonard^[2]에 의하여 TE(transverse excitation) 방식에 의한 레이저 발진으로 펄스 당 출력 20 kW, 펄스폭 20 ns의 질소레이저가 만들어 졌다.

자외선 영역의 펄스 파원으로 질소레이저와 엑시머 레이저가 유용하게 사용되고 있으며, 특히 질소레이저는 색소 레이저 펌핑, 형광 및 분광학 연구, 고속 사진촬영, 플라즈마의 밀도와 기울기 측정 등에 널리 사용되고 있다.^[3]

질소레이저는 고 이득 레이저로 다른 레이저에 비해 발진이 쉽게 되지만, 낮은 에너지 준위에서 상대적으로 긴 수명($\sim \mu s$)으로 인해 낮은 펄스 봉우리를 내어 출력 효율이 낮다.

이전까지의 질소레이저의 연구는 TE 방식의 방전여기를 중심으로 출력과 효율 개선에 중점을 두었지만, 본 논문에서는 레이저빔의 형상을 개선하기 위하여 TE 방식의 방전여기 대신에 표면전류에 의한 방전(sliding discharge)^[4]에 의한 LE(longitudinal excitation) 방식의 방전여기 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 표면전류에 의한 방전이 유리관 표면을 따라 일어나도록 원형의 유리관을 따라 전극을 교차적으로 배열한 튜브 형태의 전극 튜브를 사용하여 실험하였으며, 질소레이저의 발진된 빔이 환(ring) 형태임을 보여 표면 전류에 의한 방전 여기로 인한 다양한 폐곡선 형태의 빔 모양 형성이 가능함을 보였다.

II. 실험 장치

본 연구의 목적을 수행하기 위한 레이저 실험장치 개략도

를 그림 1에 보였다. 본 실험 장치는 크게 펄스형 전기 에너지 공급 장치, 다중 평행판 축전기용 전송회로, 레이저 관, 그리고 검출장치로 구성했다.

2.1. 레이저 관

본 연구에 사용된 레이저 관과 양쪽에 있는 고 반사거울 및 출력창 장치의 단면을 그림 2에 보였다. 레이저 관 양쪽에 고 반사거울과 출력창을 부착할 수 있도록 되어 있다.

레이저 관 안쪽의 위와 아래로 전극 연결부가 전극 관과 다중 평행판 축전기와 연결되어 있어 질소 유입 호스를 통해 들어오는 질소 분자를 여기 할 수 있도록 되어 있으며, 한편으로는 구경이 다른 전극 관으로 바꾸어 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 레이저 관의 크기는 길이 346 mm, 폭 101 mm, 두께 55 mm로 제작하였다.

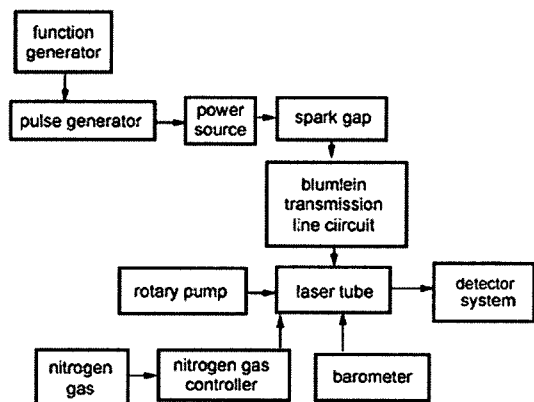


그림 1. 질소레이저 실험장치의 개략도.

[†]E-mail: leeby@cnu.ac.kr

2.2. Electrode tube 형상(Sliding discharge tube)

공진기의 설계에서 주안점은 방전이 미끄럼 방전에 의해 발생되어 질소 분자를 여기 시키도록 하는 것이다. 따라서 방전은 각 전극 사이의 유리관 표면을 따라 미끄럼 방전이 일어나도록 원형의 유리관을 따라 교차적으로 배열된 전극관을 제작하였다. 공진기에서 전극의 두께는 1 mm이며 Anode 10개, Earth 11개로 구성되어 있고, 전극간격은 10 mm, 지름은 4 mm와 2 mm로 제작하였다. 그림 3과 사진 1에 전극관의 형상을 보였다.

2.3. 고 반사거울과 출력창

고 반사거울에는 알루미늄 코팅된 평면거울을 부착했으며 세 개의 미세 조정나사로 출력창의 반사유리와 평행도를 조정할 수 있도록 하였다. 출력창은 파장이 337 nm인 파에 대해 반사율이 40%로 하였으며 고 반사거울과 같이 세 개의 미세 조정나사로 광축을 조정할 수 있도록 하였다.

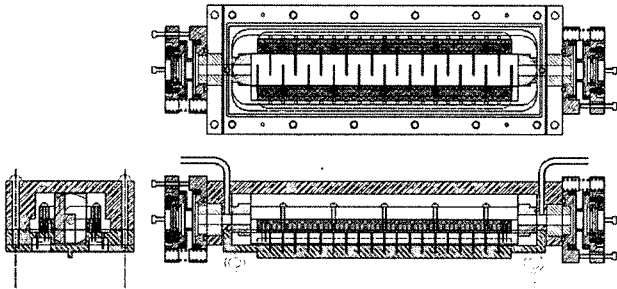


그림 2. 고 반사거울과 출력창을 포함한 레이저 관의 단면도.



사진 1. 전극 관.

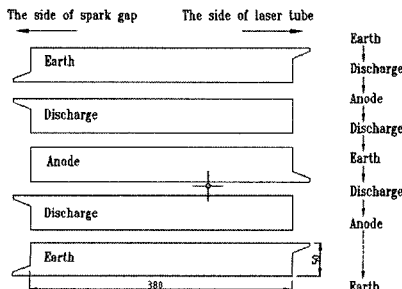


그림 5. 전송회로를 구성하는 황동판의 정렬도.

2.4. 전송회로

본 실험을 위하여 다중 평행판 축전기형 전송회로를 사용하였다.^[5] 이 전송회로는 그림 4와 같다. 그림 5은 이 전송회로의 기본 구성 요소라 할 수 있는 평행판이며 그 모양은 A형, D형, E형이 있으며 두께 0.05 mm의 황동판(brass foil)으로 제작하였다. 이들을 절연하는 절연재료로는 두께 0.35 mm의 mylar 필름과 0.3 mm의 polyester 코팅 필름을 사용하였다. 축전기판의 표면 누전을 막기 위하여 epoxy를 부어 절연하였다. 이 전송회로의 각 평행판 사이에는 mylar 필름이 5매씩 들어가며 A형의 황동판 21매, D형의 황동판 42매, E형의 황동판 22매로 구성되었으며 총 두께는 200 mm이다. 이 전송회로의 E 단자와 A 단자 사이 그리고 D 단자와 E 단자 사이의 전기용량은 각각 20 nF 정도이다.

2.5. 방전간극

방전간극의 조립도를 그림 6에 보였다. 높은 출력과 안정

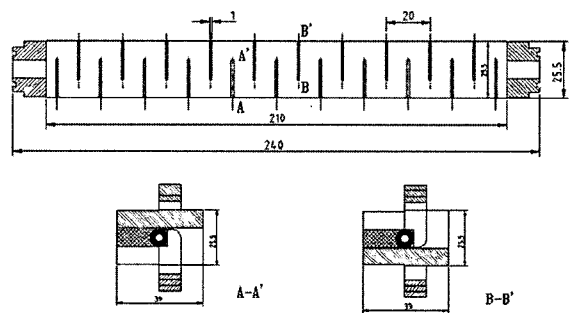


그림 3. 원형의 유리관을 따라 교차적으로 배열된 전극 관.

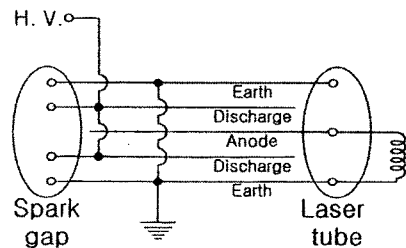


그림 4. 다중 평행판 축전기형 전송회로도.

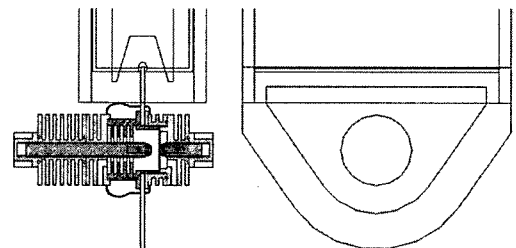


그림 6. 방전간극의 조립도.

된 레이저 발진을 위해서는 방전간극 역시 중요한 부분을 차지한다.⁶⁾ 절연재료로는 베크라이트(bakelite)를, 도체로는 황동을 사용했으며 외경을 58 mm, 높이를 84 mm로 하였다. 표면 누전을 방지하기 위하여 베크라이트에 요철을 주었으며 방전간극 내의 전극은 지름 12 mm, 피치 1.5 mm의 황동으로 된 나사이다. 전극의 한쪽 끝은 지름 10 mm에 둥근 모양으로 하여 방전전극의 역할을 하도록 하였다. 방전간극의 세부 수치는 외경 50 mm, 내경 20 mm인 베크라이트에 두께가 2.5 mm인 요철이 만들어지도록 접합하였고, 그 양쪽에는 외경 58 mm의 황동을 부착하였으며, 그 바깥쪽에는 외경 58 mm, 두께 36 mm, 핀 두께 2.5 mm의 알루미늄을 부착하였다.

방전간극과 전송회로를 이어주는 연결회로의 도체로는 0.1 mm의 황동판 한 쌍을 포물선 모양으로 만들었고, 절연재료는 0.35 mm의 mylar 필름 5매와 polyester 코팅 필름 2매를 사용하였다. 방전간극과 방열판 그리고 포물선 형태의 연결판으로 조립되어 있으며, 이들 사이의 연결은 지름 1.5 mm의 구리선 여러개를 병렬로 짧게 연결하여 저항을 최소화하였다. 방전간극 내에는 대기압의 질소기체를 흐르도록 하였고, 이 기체가 방전간극 밖으로 누출되지 않도록 방전간극과 방열판 사이에 각각 오-링(O-ring)을 끼워 밀폐하였다. 포물선 형태의 두 황동판을 각각 전송회로의 Anode와 Earth에 각각 납땜하였다. 지금까지 설명한 질소레이저의 핵심부분인 레이저 관, 전송회로, 방전간극의 조합된 전체적인 형태를 그림 7에 보였다.

2.6. 질소기체 공급 조절장치

본 실험에서 레이저의 출력에 큰 영향을 미치는 질소 압력을 조절할 수 있도록 질소기체 압력 조절장치를 사용하였다.

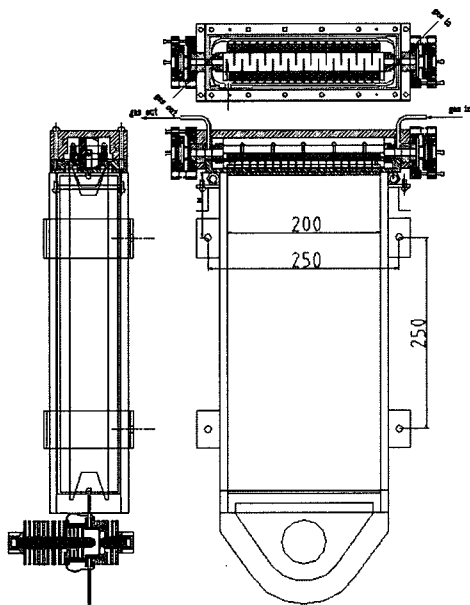


그림 7. 레이저 관, 전송회로, 방전간극으로 구성된 질소레이저의 핵심부분 조합도

레이저 관에는 회전 진공펌프를 이용하여 진공상태를 만든 다음에 질소 압력(torr)에 따른 레이저 출력을 관찰할 수 있도록 기압계를 부착하였으며, 방전간극에는 대기압 상태에서 적당한 질소가스를 공급할 수 있도록 유량계를 연결하였다.

2.7. 고전압 전원장치

본 실험에서는 전송회로에 공급되는 전원을 고전압 직류 전원과 달리 펄스형 고전압 전원을 사용하였다.⁷⁾ 이 전원은 직류 전원에 비해 높은 안정성을 가지고 있다. 이 전원의 회로도를 그림 8에 보였으며 그림의 왼편이 브리지 정류회로이고, 오른편은 펄스 발생회로이다. 고전압을 발생시키기 위하여 U자형 철심을 이용한 고전압 변압기를 사용하였으며, U자형 철심의 단면적은 60 mm×36 mm이며 1차에 27회, 2차에 1667회를 감아 제작하였다. 이 펄스 발생회로의 소자들은 모두 고속 대응량으로 SCR은 전류 800A, 정규전압 1600 V, surge 전류 2500 A 이상을 사용하여야 하고 정류기 역시 300 A, 정규전압 1600 V 이상을 사용하여야 한다.

축전기 C1은 500μF, 450 WV, RMS 50 A이고 T1은 고전압 발생기이다. 이러한 고전압 변압기의 특성은 이를 동작시키는 전기회로가 간단하여도 동작이 잘 이루어졌다. 펄스형 전원을 동작시킬 전자회로는 그림 9에 보였다. 입력측에 사각파를 입력시키면 출력측에 SCR을 동작시키기에 적당한 크기와 폭의 펄스형 전력이 출력된다. 이 펄스형 전력은 사각파를 내놓는 함수 발생기 또는 그림의 하단 부분에 있는 자체 발진회로에 의하여 구동되며 그 반복률은 임의로 변동시킬 수 있다.

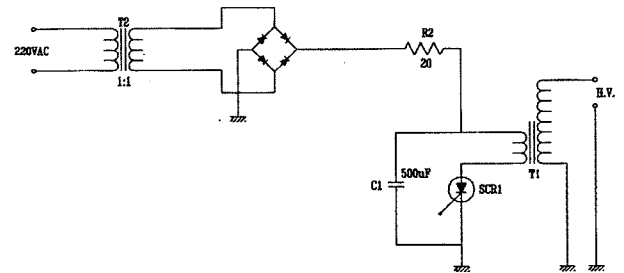


그림 8. 펄스형 고전압 전원의 회로도

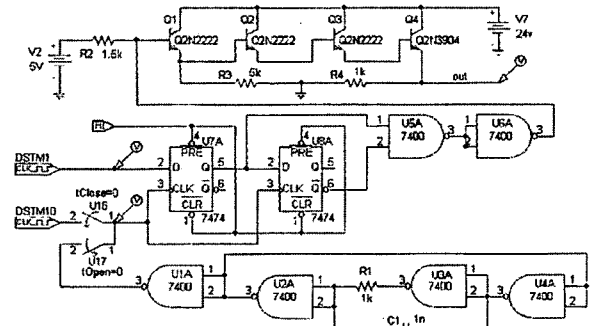


그림 9. 고전압 펄스형 전원을 동작하기 위한 회로도

2.8. 전자파의 차단

레이저의 동작 시 발생하는 강력한 전자파는 전자회로의 동작에 교란 및 파괴를 일으켜 레이저를 정상으로 동작시킬 수가 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 레이저 관, 전 송회로 그리고 방전간극 등을 두께 3 mm의 철판으로 된 가로 672 mm, 세로 380 mm, 높이 280 mm의 상자 안에 넣어 전자파를 차단하였다. 이 차단상자와 함께 레이저 전체의 외형을 그림 10에 보였다.

2.9. 측정장치

질소레이저의 동작특성을 측정하기 위해서는 여러 종류의 측정장치가 필요하다. 가장 간단한 측정으로 레이저 관 내부의 질소기체 압력은 수은 기압계로 측정하였고, 방전간극 내의 질소가스 유량은 유량계로, 선전리¹⁸⁾ 현상은 광섬유를 통하여 Biplanar Photo Tube(HAMAMASTU)와 DCS Camera (TEKTRONIX C1002)를 장착할 수 있는 Oscilloscope (TEKTRONIX 7104)를 사용하였다. 레이저 출력을 측정하기 위해서는 Universal Radiometer(DigiRad R-752)를 사용 하였다.

III. 실험 방법 및 결과

3.1. 실험 방법

본 실험에 유전체의 표면을 따라 발생하는 미끄럼 방전에 의해 질소 분자가 여기되어 질소레이저가 발진되는 것이 주가 된다. 레이저의 출력특성은 크게 레이저의 출력과 안정성으로 나눌 수 있다. 본 실험에서는 안정성은 레이저의 출력이 변동되는 정도를 뜻하는데 백분율 변동계수(percent deviation)을 안정성 (stability)이라 하였으며, 안정성 S는 $S=(\sigma_x/\bar{X})\times 100(\%)$ 로 산출하였다. 여기서, σ_x 는 출력펄스 강도 분포의 표준편차이고, \bar{X} 는 출력펄스 강도 분포의 최빈치를 나타낸다. 이 출력특성을 결정짓는 변수로서는 방전간극의 간격, 레이저 공진기의 지름, 레이저관 및 방전간극 내의 질

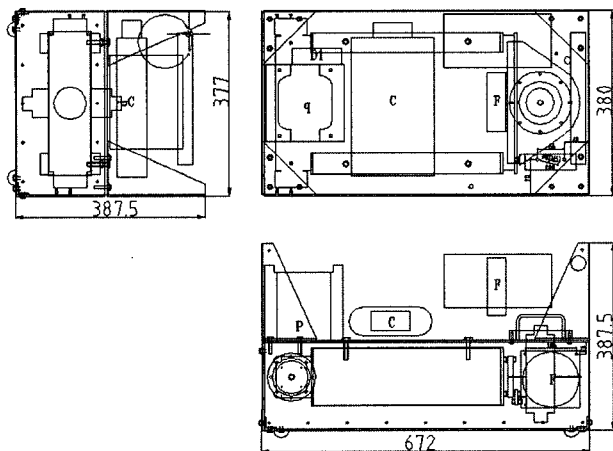


그림 10. 레이저 장치의 외형도

소기체의 유동률 및 압력, 출력창의 반사율, 레이저의 반복률, 펄스형 고전압 변압기의 권선 수 등 많은 변수들이 있다. 본 실험에서는 예비 실험을 통하여 몇 개의 변수를 고정하여 실험하였다. 출력창의 반사율 40%, 레이저의 반복률을 10Hz, 방전간극 내의 질소 기체의 압력을 대기압, 유동률을 40 l/min 등으로 고정한 다음, 방전간극 내의 전극 간격과 레이저관 내의 질소기체의 유동률에 따른 출력 특성을 조사하였다.

3.2. 실험 결과

유전체의 표면을 따라 발생하는 미끄럼 방전은 공진기의 내경 지름의 표면을 따라 방전되며 질소레이저의 발진도 공진기의 원둘레를 따라 발진됨을 사진 2와 사진 3를 보아 알 수 있다. 사진은 흰 종이 위에 형광되는 레이저 빔의 형상을 촬영한 것이며 마킹된 지름의 둘레는 10 mm이다. 사진 2는 지름 2 mm이며, 사진 3는 지름 4 mm이다.

지름 2 mm의 공진기를 사용했을 때 레이저의 출력은 방전간극 6 mm, 유동률 5000 cc/min일 때 약 15 μJ로 가장 좋았으며, 안정성은 방전간극 6 mm, 유동률 2500 cc/min일 때가 가장 안정적이나 출력과 비교해 보면 방전간극 6 mm, 유동률 5000 cc/min일 때 레이저의 출력이 가장 효율적임을 그림 11과 그림 12를 보아 알 수 있다.

지름 4 mm의 공진기를 사용했을 때 레이저의 출력은 방전간극의 간격이 넓어짐에 따라 출력이 증가함을 보이고 있다. 방전간극 10 mm, 유동률 12500 cc/min일 때 최고 출력을 보이며 방전간극 9 mm, 유동률 12500 cc/min에 비하여 파워와



사진 2. 레이저빔의 모양 - 지름 2 mm.

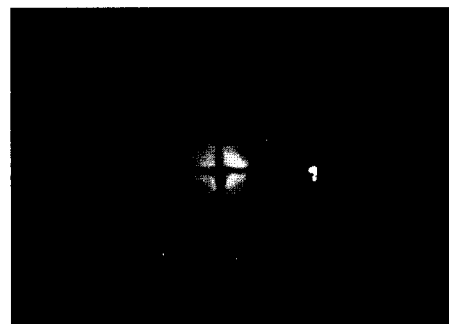


사진 3. 레이저빔의 모양 - 지름 4 mm.

안정성을 비교해 볼 때 다소 효율적임을 그림 13과 그림 14에서 알 수 있다.

공진기의 지름이 증가함에 따라 최고 출력을 보이는 레이저 관 내의 질소 기체 유동률도 증가함을 보이고 있다. 이는 미끄럼 방전이 일어나는 공진기의 원둘레는 지름의 길이에 비례하는데 공진기의 지름이 2 mm에서 4 mm로 증가함에 따라 미끄럼 방전이 일어나는 길이가 2배로 증가하여, 이에

따라 방전간극과 유동률도 증가시켜야 함을 알 수 있다. 또한 이번 실험에서 선전리 현상이 일어나는지도 알아보았다. 그림 15에서 가운데 부분의 큰 높이의 봉우리는 레이저 발생 시를 나타내고 있으며, 그에 앞서 작은 봉우리들을 볼 수 있는데, 이는 선전리 시에 방출되는 빛을 나타내고 있다. 따라서 선전리 현상이 잘 일어남을 알 수 있다.

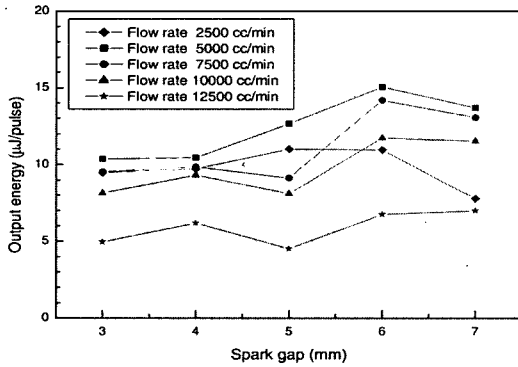


그림 11. 지름 2 mm 공진기 사용시의 레이저 출력.

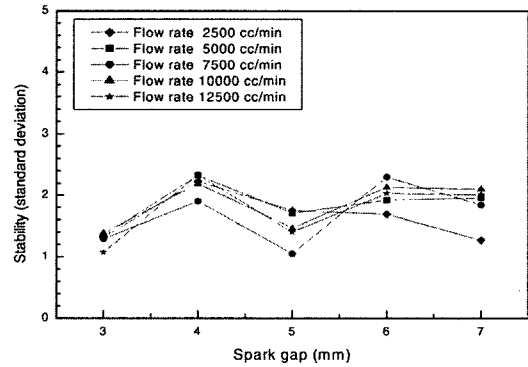


그림 12. 지름 2 mm 공진기 사용시의 안정성.

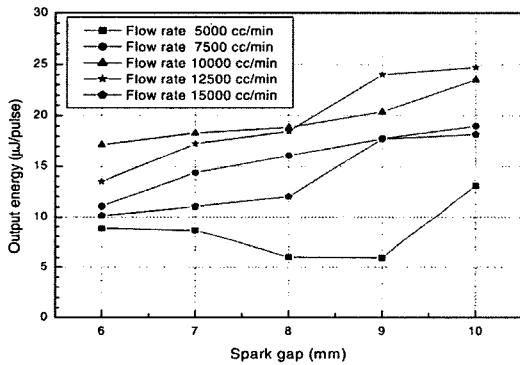


그림 13. 지름 4 mm 공진기 사용시의 레이저 출력.

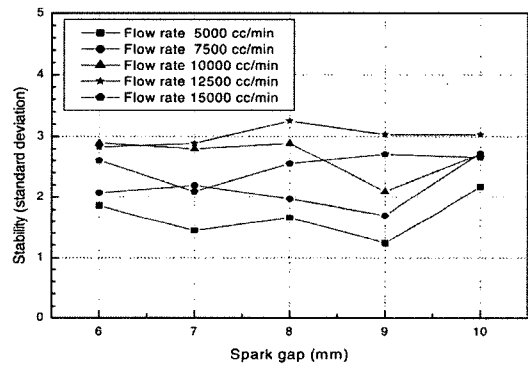


그림 14. 지름 4 mm 공진기 사용시의 안정성.

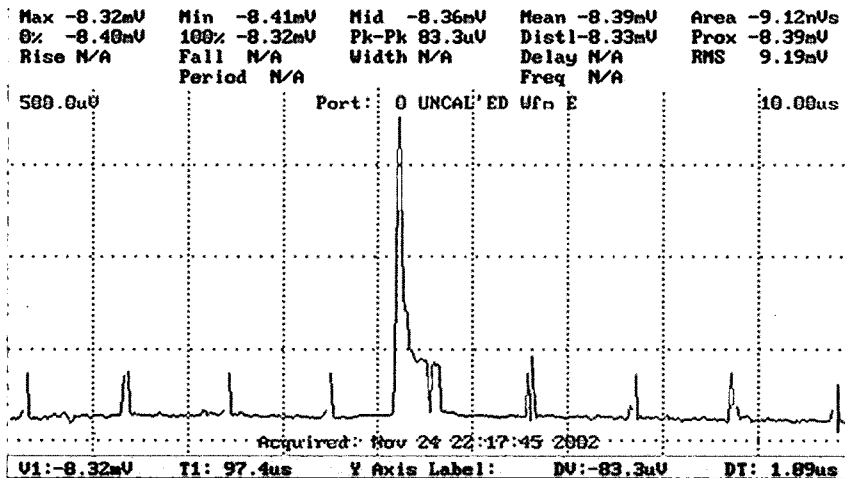


그림 15. 지름 2 mm일 때의 방전간극에서의 선전리 현상.

IV. 결 론

참고문헌

본 연구에서는 유전체의 표면을 따라 발생하는 미끄럼 방전에 의한 질소분자의 여기와 질소레이저의 발진이 가능한지를 알아보았고, 레이저빔의 형상이 공진기의 원둘레를 따라 발진이 되어 빔이 환 (ring) 모양으로 출력이 되는지를 알아보았다.

실험 결과를 통해 미끄럼 방전에 의해 발진이 가능하다는 사실을 알 수 있었으며, 레이저의 동작특성인 출력과 안정성이 기존의 TE (transverse excitation) 방식에 비해 뒤떨어지지 않는다는 것을 알 수 있었다.

또한 기존의 TE 방식과 달리 공진기의 지름이 2배 증가하면 미끄럼 방전이 일어나는 표면적이 2배, 체적이 4배 증가함에 따라 그에 따른 방전간극과 유동률이 비례관계에 있음을 알 수 있었다.

이번 연구에서 나타난 질소레이저의 미끄럼 방전에 의한 발진과 환 모양의 레이저빔 형상은 직사각형이나 타원형의 빔 등 폐곡선을 이루는 어떤 특정한 형태의 질소레이저 빔도 만들어 낼 수 있다는 가능성을 보였다. 이는 색소 레이저의 펌핑 등에 가로방향으로 긴 막대모양의 직사각형의 빔과 같이 적절한 형태의 질소레이저 빔을 발진하여 보다 효율적인 사용이 가능함을 의미한다. 또한 방전여기 방식인 엑시머 레이저 등의 기체레이저에서도 미끄럼방전을 이용한 레이저 발진이 가능함을 의미하기도 한다.

[1] H. G. Heard, "Ultra-violet gas laser at room temperature", *Nature*, 200, p. 667, 1963.
 [2] D. A. Leonard, "Saturation of the molecular nitrogen second positive laser transition", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 7, pp. 4-6, 1965.
 [3] A. Vazquez Martinez and V. Aboties, "High-Efficiency Low-Pressure Blumlein Nitrogen Laser", *IEEE J. Quantum Electronics*, QE-29, p. 2364, 1963.
 [4] P. A. Atanasov and A. A. Serafetinides, "TEA gas lasers excited by a sliding discharge along the surface a dielectric", *Opt. commun.*, vol. 72, pp. 356-360, 1989.
 [5] 김영호, "전송회로의 길이와 폭 및 용량에 따른 질소레이저의 동작특성", 충남대학교, 석사학위논문, 1996.
 [6] 양준묵, 이치원, 안근옥, "고속 고압 방전간극과 다중평행판 축전기형 전송회로로 구성 된 질소레이저의 제작과 그 동작특성에 관한 연구", *새물리*, vol. 28(1), pp. 79-84, 1988.
 [7] 이치원, 추한태, 양준묵, "고압펄스 충전형 전원을 사용한 질소레이저의 제작과 그 동작 특성에 관한 연구", *새물리*, vol. 29(3), pp. 291-298, 1989.
 [8] 양준묵, 추한태, 이봉연, 이승철, 이치원, "선전리용 전송회로가 부착된 질소레이저의 제작과 그 동작특성", *새물리*, vol. 32(2), pp. 193-200, 1992.

Operational Characteristics of a Nitrogen Laser with Sliding Discharge and Longitudinal Excitation

Bong-Yeon Lee[†]

Research Institute of Basic Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

[†]E-mail: leeby@cnu.ac.kr

(Received June 21, 2005, Revised manuscript August 29, 2005)

We have studied on operational characteristics of the nitrogen laser with sliding discharge and longitudinal excitation. We could observe radiation of nitrogen laser excited by a sliding discharge along the surface of a dielectric. The shape of the beam was a ring type which had 2 mm or 4mm in diameter depending on the sliding discharge tube shape. In this experiment, We show the possibilities to make other shapes of laser beam, for example, rectangle, ellipse, and to excite another gas laser system like an excimer laser.

OCIS Codes : 140.0140, 140.3300, 140.3410, 140.4130.