

## 액체질소 냉각형광대역 cw CO 레이저

김용평, 최종운, 원종욱  
한국표준연구소 레이저연구실

### A LN<sub>2</sub>-cooled, Broadband cw CO Laser

Y. P. Kim, J. W. Choi and J. W. Won  
Laser Laboratory Korea Standards Research Institute

#### Abstract

The CO laser is one of powerful light source for laser magnetic resonance spectroscopy in the mid-infrared region of the spectrum because of its wideband operational characteristics. In this work, a liquid nitrogen cooled cw CO laser is developed to allow broad-band operation from 5 to 8  $\mu\text{m}$ . The design details will be presented.

#### 1. 서론

레이저를 이용한 자기공명 분광법 (laser magnetic resonance spectroscopy : LMR)은 1968년 Evenson [1]에 의해 개발된 이래, 기체상 분자 이온의 강력한 고분해 분광법의 하나로 널리 이용되고 있다. LMR은 1940년대 말 이래로 미시적인 현상을 규명하는 실험방법으로 물리, 화학, 생물 그리고 의학분야 등에서 널리 이용되고 있는, 잘 알려진 전자 상자 공명법 (electron paramagnetic resonance) [2]에 레이저를 접목시킨 분광법으로, 원자나 분자전이선을 고정된 주파수원 (fixed frequency source)에 공명시키는데 Zeeman 효과를 이용하는 분광법이다.

지금까지 LMR에는 원격외선 (50 - 1000  $\mu\text{m}$ ) [3] 영역에서 동작하는 레이저가 주로 이용되어 왔는데, 그 결과 관측된 전이선도 주로 순수한 회전전이 (pure rotational transition)에 관한 것이었다. 진동·회전전이 (vibrational-rotational transition) 분광은 원격외선 (far infrared, FIR) 레이저를 중적외선 (mid-infrared, mid-IR) 레이저로 대체하여 얻을 수 있지만, [4,5] 그 한정된 동작 파장 영역으로 분광 가능한 파장 영역은 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub>O 레이저의 동작파장 영역인 10  $\mu\text{m}$  부근에 제한되고 있다.

따라서 한국표준연구소에서는 5 ~ 8  $\mu\text{m}$  대를 포괄할 수 있는 중적외선 영역에서의 새로운 LMR 분광기 시스템의 개발을 수행하고 있다. LMR 분광기 시스템은 크게 보아

- 1) 복사원인 레이저부
- 2) 직류 고자장 발생을 위한 전자석 및 방전흡수부
- 3) 자장조정장치 및 전자조정부
- 4) 신호처리 및 데이터 분석장치부

로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 광대역 동작이 가능한 액체질소 냉각형의 cw CO 레이저를 복사원으로 선정하여 설계, 제작 및 성능평가 연구를 수행하고 있다.

발표에서는 CO 레이저의 고효율 광대역 동작조건에 대하여 고찰하고, 실제로 설계 제작된 액체질소 냉각형의 cw CO 레이저에 대하여 기술한다.

#### II. CO 레이저의 동작원리

##### 1. CO 레이저의 발전원리

그림 1에 CO 분자의 에너지 준위의 일부를 비교설명을 위하여 CO<sub>2</sub> 분자 및 N<sub>2</sub> 분자의 에너지준위와 함께 나타내었다. CO<sub>2</sub> 레이저의 경우 바닥상태에 있는 CO<sub>2</sub> 분자

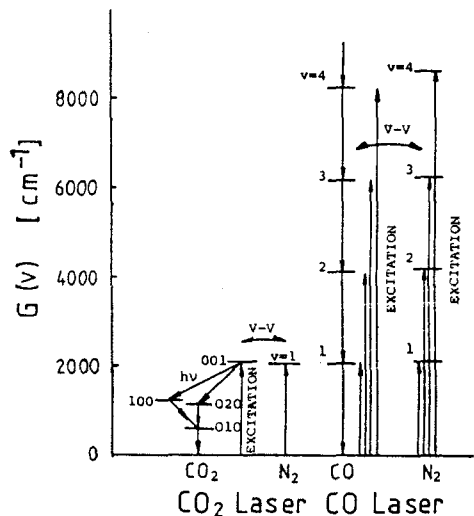


Fig. 1. Vibrational energy level diagram for CO, N and CO molecules

( $\Sigma_g^+$   $00^0$ )는 방전전자와의 충돌, 또는 여기진동준위에 있는 N<sub>2</sub> 분자와의 진동-진동 에너지 전달 과정에 의해 비대칭 신축모드(asymmetrical stretching mode)의 여기상태(001)로 여기된다. 레이저 동작은 이준위와 대칭 신축모드(symmetrical stretching mode)의 여기준위( $10^0$ ) 또는 굴곡모드(bending mode)의 여기준위( $02^0$ ) 사이에서 일어난다. Lower level에 있는 CO<sub>2</sub> 분자는 Fermi 공명에 의해 (01'0) 준위에 완화한 다음 진동-회전 완화과정 (vibration - rotational relaxation process)에 의해 바닥상태로 완화한다. 이 경우 레이저 광으로서 이용가능한 에너지는 upper level의 에너지 (2349.16 cm)의 일부 (960.99 cm, 1063.77 cm)에 지나지 않고, 나머지는 열에너지로 변한다. 한편 CO 레이저의 경우, 방전전자와의 비탄성충돌 또는 여기진동준위의 N<sub>2</sub> 분자와의 진동-진동 에너지 전달과정에 의해 여기된 CO 분자는 다른 CO 분자와의 진동-진동 에너지 완화 과정에 의해 더욱 높은 진동준위에 여기된다. 레이저 발전으로 광자를 방출하고 일단 낮은 진동 준위에 천이된 CO 분자는 더욱 낮은 진동준위에 cascade 천이를 일으키거나, 방전전자와의 충돌 또는 진동-진동 에너지 완화과정에 의해 다시 보다 높은 진동준위에 여기된다. 따라서 CO 레이저에 있어서 에너지 손실은 진동-병진 에너지 완화과정에 의한 진동에너지의 열화, 즉 gas의

kinetic process에 의한 것으로 CO<sub>2</sub> 레이저와 같은 발전 메카니즘 자체로부터 유래하는 손실과는 성질을 달리 한다. 따라서 CO 레이저의 효율은 여기과정, 반전분포 형성과정, 광에너지 추출과정에 있어서 gas의 kinetic process를 최적화 함으로서 원리적으로 1에 가까운 효율을 얻을 수 있다.

2. CO 레이저의 여기메카니즘

방전여기 방식의 CO 레이저에 있어서 CO 분자의 여기는 전계로 가속된 전자를 CO 분자와 충돌시켜 전자의 운동에너지를 CO 분자의 진동에너지로 직접 변환시키거나, 전자의 운동에너지를 N<sub>2</sub> 등 CO 이외의 분자의 진동에너지로 변환시킨 다음 이들 분자와 CO 분자와의 진동-진동 에너지 교환을 일으켜서 이루어진다. CO나 N<sub>2</sub> 분자는 전자와의 비탄성 충돌에 의한 진동 에너지의 변환에 대단히 큰 여기단면적 (excitation cross section)을 갖고 있고, 전자에너지의 약 90% 정도가 진동에너지로 변환된다. 그러나 전자충돌에 의한 직접여기의 충돌단면적은 진동준위가 높을수록 작아져, CO나 N<sub>2</sub> 어느쪽도 v = 8 이상의 진동 준위에서는 무시할 정도로 작다 [6]. 실제로 CO 레이저에 있어서 레이저 발진을 가능하게 하는 반전분포는 여기된 CO 분자 상호간의 진동-진동 에너지 완화과정에 의해 형성된다. 진동-진동 에너지 완화 과정은 진동-병진 에너지 완화과정보다 훨씬 빠른 반응 속도를 갖기 때문에 진동준위사이의 밀도분포 (population distribution)는 non-Boltzmann 분포를 이룬다. 이러한 현상은 소위 비조화 펌핑 과정 (anharmonic pumping process) 이라 불리지는데, 이로 인해 CO 분자의 진동준위에는 완전반전분포(total inversion) 보다는 부분반전분포(partial inversion)가 형성된다. 그림 2에 2개의 인접한 진동준위에 있어서 회전준위의 밀도분포를 보인다. 그림에서 두진동준위의

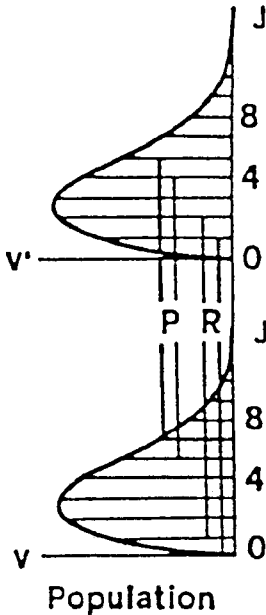


Fig. 2. Partial inversion between two vibrational transitions (V and V') having the same total population

밀도(population)가 같다할지라도, 반전분포는 2개의 p-branch(J'=5 → J=6, J'=4 J=5)와 2개의 R-branch (J'=2 J=1, J'=1 J=0) 사이에 형성된다. 이러한 부분 반전분포 상태에서 레이저 발진은 가능하게 된다. 일단 레이저 발진이 일어나면, 레이저 상준위의 밀도는 줄어들고, 레이저 하준위의 밀도는 높아지는데, 소위 cascading 현상에 의해 밀도가 줄어든 상준위는 그보다 높은 여기준위에 대해 레이저 하준위로 작용하고,

레이저 하준위는 그보다 낮은 진동준위에 대해 레이저 상준위로 작용한다. 이러한 cascading 과정은 대단히 작은 반응 속도의 진동-병진 완화율과 결합하여 대부분의 진동에너지를 레이저 에너지로 추출가능하게 한다. CO 레이저에 있어서 저온 동작의 필요성은 비조화 펌핑 과정에 기인한다. 그림 3에 병진온도 (translation temperature)를 변수로 해서 진동에너지 준위에 대한 밀도분포의 변화를 보인다.

그림에서 병진온도(translation temperature)가 낮을 수록 높은 진동준위의 밀도는 비약적으로 높아짐을 알 수 있다. 이것은 cascading 과정을 촉진시켜 고효율 동작을 가능하게 한다. 한편, 진동-병진 완화율도 저온에서 그 값이 작아짐은 잘 알려진 사실이다.

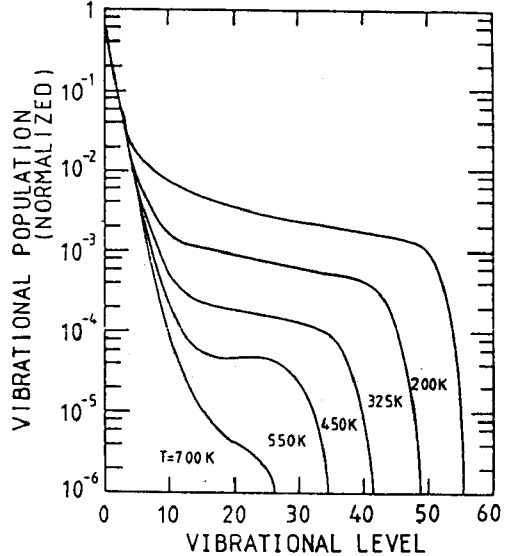


Fig. 3. Calculated vibrational population for values of gas temperature

III. CO 레이저의 고효율 광대역 동작조건

1. CO 레이저의 고효율 동작

양자효율이 대단히 큰 특성등 CO 레이저가 고효율 레이저로서의 잠재력을 갖추고 있는 사실은 전술한 대로지만, 그 특성을 살리기 위해서는 몇가지 중요한 포인트가 있다.

그 하나는 여기방전에 관한 것으로, 방전의 E/N (평균전자 에너지)를 CO 또는 N<sub>2</sub>의 진동여기의 적당한 조건에 맞추는 것이다. 여기에는 2가지 방법이 알려져 있다. 그 하나는 레이저 가스중에 Xe과 같은 전리 전압이 비교적 낮은 가스를 첨가하는 방법이다. Xe의 첨가에 의해 방전전자가 주로 Xe으로 부터 공급되게 되어 레이저가스의 전도도가 높아지게 되기 때문에 E/N이 저하된다. 동등한 효과가 기대되는 첨가 가스로서는 Hg, O<sub>2</sub> 등이 있지만, 이 방법으로는 E/N과 방전전류를 독립적으로 제어할 수 없기 때문에 방전인력 밀도를 높이는데 한계가 있다. 그 결점이 있다. 보다 적극적인 방법으로서서는 전자빔 제어방전등의 외부지속 방전을 이용하는 것이다. 이 경우, 방전유지에 필요한 전자는 외부로부터 공급되기 때문에 전자밀도를 증가시키는 것이 가능하다. 또 인가전압을 제어함에 의해 효율적인 진동여기도 달성할 수 있다. 이 방법의 결점은 장치의 대형화, 복잡화를 초래하는 것으로 실용상으로는 문제가 많다. 또 전자빔을 이용하는 경우 그 투과막의 수명등이 짧기 때문에 메인テナンス에 많은 시간이 필요하다.

다음으로 중요한 것은 레이저가스의 냉각기술이다. 가스냉각의 효과는 V-V 여기의 역반응 및 V-T 완화의 제어등으로 앞서 설명한 대로지만, 이 효과는 레이저

가스가 얼지 않는 한 저온이면 저온일수록 좋다. 1968년 Osgood 등이 레이저관을 그때까지의 수냉에서 액체질소(liquid nitrogen, LN<sub>2</sub>) 냉각으로 0.5%의 전기변환 효율을 일거에 9% 까지 높인것은 CO 레이저의 역사중 가장 획기적인 사건중의 하나였다 [7].

CO 레이저가스 냉각의 방법으로는 이와같이 LN<sub>2</sub> 등의 냉매를 사용하는 방법외에 단열팽창을 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 LN<sub>2</sub> 온도 이하의 가스온도가 달성가능하고, 예비냉각이 불필요한 장점이 있지만, 가스 순환형으로 하는 경우 상당히 큰 동압을 실현시켜야 하기 때문에 압축기가 대규모가 된다. 따라서 압축기의 소비전력이 팽대해져 레이저 전 시스템의 효율을 저하시키기 때문에 실용적이지 못된다. 이에 반해, 최근 LN<sub>2</sub>를 싼값으로 구입가능해진 사실을 생각하면 오히려 LN<sub>2</sub>냉각방식이 타당하다 하겠다.

이상 CO 레이저에 있어서 중요한 기술로서 방전기술과 가스냉각 기술에 대해 논했는데, 이들은 서로 밀접한 관련을 갖고 있다. 레이저의 효율적인 여기에는 공간적으로 균일한 글로우(glow) 방전이 필요한데 이들 조건은 레이저 매질의 균일성에 큰 영향을 받는다. 다시 말해 균일한 온도분포, 균일한 속도분포를 갖는 레이저 매질의 실현이 중요하게 된다.

2. CO 레이저의 광대역 동작

방전여기 CO 레이저로 지금까지 보고된 발진 범위(스펙트럼 영역)은  $v = 1 \rightarrow 0$  (4.7  $\mu\text{m}$ )로부터  $v = 37 - 36$  (8.2  $\mu\text{m}$ ) [8] 까지 넓은데, 이하이 진동준위의 발진범위를 중심으로 그 결과를 정리한다.

CO 레이저는 비조화 진동자에 의한 메카니즘으로 동작하기 때문에 낮은 진동준위에서 천이 할수록 높은 광자에너지, 즉 짧은 파장으로 동작하게 된다. 따라서 방전여기 CO 레이저에 있어서 그 발진파장 영역은 비조화 진동자의 여기메카니즘에 대한 몇가지 파라미터에 의해 좌우된다.

파장이 짧은 저진동준위에서는 발진, 특히 5  $\mu\text{m}$  이하의 짧은 파장은 높은 진동준위에서의 발진보다도 대기투과 특성이 뛰어나다 [9]. 저진동 준위에서의 발진은 효율, 출력률을 최적화한 조건에서는 얻어지지 않고 특별한 조건이 필요하다. 전진동 준위의 발진을 향상시키기 위해서는 V-T 완화 및 저진동 준위의 여기를 증가시켜, 고진동 준위의 V-V 여기를 억제할 필요가 있다. 즉 CO 분압을 낮게해서 고진동준위의 V-V 여기를 억제해야 하고, 다량의 He에 의해서 V-T 완화를 증대시키고 발진온도는 저하시켜야 하며, N<sub>2</sub> 온도를 높게하여 평균전자에너지를 낮추므로서 N<sub>2</sub>의 진동준위에서의 전자충돌여기를 향상시켜서, N<sub>2</sub>의  $6 \rightarrow 5$ 와 CO의  $v \rightarrow v+1$ 의 공명 V-V 교환에 의한 CO의 저진동 준위에서의 여기를 높여야 한다.

파장이 긴 고진동 준위에서의 발진은, 고진동 준위에서의 V-T 완화가 크기 때문에 방전형 CO 레이저에서 가능한 최고 진동준위는  $v = 37-36$ 의 8.2  $\mu\text{m}$  정도가 그 한계로 알려져 있다 [10]. 앞서 논술한 대로, CO 레이저에 있어서 높은 진동준위의 밀도를 높이기 위해서는 병진온도를 낮추어야 하며, CO 분자 거리의 V-V 여기를 증대 시켜야 한다. 한편 중적외선 영역에서는 수분에 의한 광자의 흡수가 일어나는데, 그 흡수단면적은 CO 레이저의 장파장쪽에서 큰 흡수 단면적을 가지고 있다. 따라서 고진동 준위에서의 발진을 향상시키기 위해서는 V-T 완화의 저감 및 V-V 여기의 증대를 위한 레이저 매질의 냉각과, 수분에 의한 흡수를 제거하기 위한 공진기 자체의 water-free 조건하에서의 동작이 필요하다.

IV. 액체질소 냉각형 연속동작 CO 레이저의 설계 및 제작

- 본 연구에서는 앞서 설명한 대로 중적외선 영역에서
- 분광가능한 주파수 대역이 넓고(versatility)
- 소형(compact) 이며
- 고분해능(high resolution)

이 가능한 레이저 가지공명 분광기의 개발을 목표로 하고 있다.

이들 위해 복사원(radiation source)으로 선정된 것은 액체질소(LN<sub>2</sub>) 냉각형의 방전여기 cw CO 레이저

로서 동작파장영역은 현재까지 보고된  $v = 1 \rightarrow 0$  (4.7  $\mu\text{m}$ )에서  $v = 37 \rightarrow 36$  (8.2  $\mu\text{m}$ )대를 개발목표로 하고 있다. CO 레이저 시스템은 크게 보아

- 레이저 본체
- 냉각장치
- 진원부

로 나누어 설계 제작하였는데 이하 이에 대하여 기술한다.

1. 레이저 본체

가능한한 시스템을 간소화(compact) 하기 위해 레이저 본체는 하나의 반침대 위에 설치할 수 있도록 하였으며, 특히 잠음(진동, 열팽창)에 의한 레이저 출력특성의 변화를 방지하기 위해, 반침대로는 16 x 16 x 250 cm 의 석봉(granite bar)를 사용하였다.

가. 레이저 방전관

레이저 방전관은 내경 1.5 cm, 두께 2 mm, 길이 120 cm 의 pyrex 유리관으로 제작하였는데 그림 4에 이를 보인다. 레이저 동작에 기여하는 전극사이의 길이는

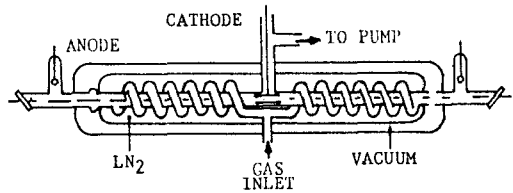


Fig. 5. Details of LN dewar connection part

110 cm로 하였다. 전극구성은 그림에 표시한 바와 같이 방전관의 중앙에 니켈(Ni) 공동(hollow)으로된 공동의 음극(cathode)을 설치하고, 방전관의 양단부근의 텅스텐 봉으로된 음극을 설치하여 균일한 방전을 얻을 수 있도록 하였다. 여기서 중요한 것은 전극의 배치이다. 즉 방전관의 중앙에 위치한 음극은 방전관에 평행한 공동으로 하지 않고 양극과 같은 형태로 수직으로 설치하면 음극부근에서 plasma focusing effect를 일으켜, 레이저 튜브를 고온으로 가열하여 녹게 된다. 방전관의 양단에는 66 x 25.4 x 3 mm 의 ZnSe plate를 이용하여 Brewster window를 설치 하였다. Brewster angle는 파장 5.3  $\mu\text{m}$ 에서 ZnSe의 굴절률이  $n = 2.4861$  이기 때문에  $\tan \theta = n$ 으로 부터 68.088° 이다. 따라서 알루미늄으로 Mount를 제작하여 광축과 Window 면이 이루는 각도를 21.91°가 되도록 하였다.

나. 레이저 공진기

공진기는 회절격자-반사경 쌍을 이용하여 구성. 진동-회전 천이선을 선택적으로 발진시킬 수 있도록 하였다. 즉 회절격자의 제1차 회절을 이용하여 이득캐논을 얻고, 출력은 제0차 회절에 결합시켰다. 사용된 반사경은 직경 1 inch, 곡률반경 15 m의 금으로 코팅된 오목거울 이고, 회절격자는 크기 1 x 1 inch, 150 groove/mm 및 300 groove/mm인 Jobin-Yvon사 제품을 사용하였다. 회절격자는 고분해능을 얻기위해 초정밀 조정(감도: 0.001°/knob)이 가능한 회전대(rotating stage)위에, 역시 미세조정이 가능한 Mount에 붙여 설치하였다. 반사경은 레이저의 출력률을 이득분포의 최대치에서 안정화 시킬 수 있도록 조정하기 위해 PZT 위에 설치 하였다. 한편 공진기내에서의 수분에 의한 흡수(intracavity absorption)를 방지하기 위해, 알루미늄으로 진공상자를 구성하여, 반사경 및 회절격자를 water-free 조건하에서 조정할 수 있도록 하였다.

다. 레이저 가스 주입장치

레이저 가스는 그림 4에 표시한 바와 같이 레이저 관의 양단으로 주입되도록 하였고, 중간의 음극부분을 통하여 배출되도록 하였다. 가스의 혼합은 레이저관에 가스가 도달하기 전 online line system으로 예비혼합

(premixing) 되도록 하였다. 여기서 사용한 가스배관은 유기성 관에서는 outgasing의 우려가 있기 때문에 모두 동파이프를 사용 하였다. 전술한 바와 같이 각동작 파장에서의 가스 혼합비율은 서로 다르기 때문에 micro value를 설치하여 각각의 최적치를 손쉽게 조절할 수 있도록 하였다.

방전관 속의 진공도는 rotary pump를 이용하여 40 mTorr 정도를 유지하게 한 다음, 레이저 가스를 주입 하였는데, 이용된 압력계는 < 1 Torr 에서는 pirani gauge를 > 1 Torr 에서는 0 ~ 100 mbar 까지 눈금이 매겨져 있는 Swiss Balzer사의 제품이다.

2. 냉각시스템

CO 레이저에 있어서 가스냉각은, 레이저의 고효율 동작뿐만 아니라 광대역 동작을 위해서는 필수적인데, 특히 동작중 온도의 변화는 출력의 변화로 곧바로 연결 되기 때문에 안정된 냉각시스템은 CO 레이저 설계에 필수적 사항이다.

여기서는 냉매로 액체질소 (LN<sub>2</sub>)를 사용하였는데, 그림 4 에 보인 바와 같이 레이저 방전관의 가스의 입력부는 효율적인 냉각을 위해 LN<sub>2</sub> 와의 접촉면을 가능한한 크게해 나선형으로 하였다. 또한 레이저의 장시간 연속동작에 의한 LN<sub>2</sub>의 감소분을 보충하기 위해 LN<sub>2</sub>의 automatic discharging system을 채용, 항상 일정한 양의 LN<sub>2</sub>가 유지되도록 하였다.

그림 4 에 보인 바와 같이 LN<sub>2</sub>를 담은 냉각조는 공기와의 직접접촉을 피하기 위해 2중구조로 하고 있다. 이는 공기와의 직접접촉에 의한 LN<sub>2</sub>의 급속한 증발을 억제하는 것과 냉각조의 표면이 공기중 수분에 의해 얼어붙는 것을 방지하기 위한 2가지의 의미가 있다. 이런 이중구조에 있어서 중요한 것은, LN<sub>2</sub> 냉각조와 공기와의 접촉면 사이에 둔 진공부분 속의 레이저 방전관이 열팽창계수의 차이에 의해 파열되는 것을 방지하는 것이다. 이를 위해 흔히 사용되는 방법은 진공부분속의 레이저 방전관에 주름을 주는 것이다. 이는 pyrex 유리관과 같은 재료에서 효과적인 방법이 못된다. 따라서 여기서는 그림 5에 보인 구조로 하여 공기와의 접촉하는 부분과 레이저 방전관 사이에 O-ring을 설치하므로써 이 문제를 해결하였다. 즉 레이저

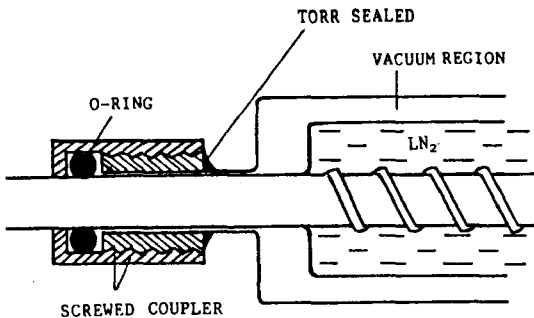


Fig. 4. Laser discharge tube.

방전관은 냉각조의 액체질소에 의해 냉각되면 부피가 줄어 관의 중심을 향해 끌리게 되는데, 진공조는 액체질소와 직접 접촉하지 않으므로 그 팽창정도가 다르다. 따라서 진공조와 레이저 방전관과의 사이에 O-ring을 설치하여 이 차이를 보상함으로써 파열을 방지하게 된다.

3. 전원부 설계

레이저 발진을 위한 펄핑용 전원으로 사용하기 위하여 30 kV, 100 mA의 DC power supply를 설계하였다.

H.V(high voltage)를 얻기 위하여, 상용 110 V AC 전원을 승압 transformer를 사용하여 최고 30 kV 까지 승압한 후 bridge 정류하여 capacitor filter로 평활 하였다. H.V 가변은 slidac을 사용하였다.

여기에서 최대출력시에 출력전압 변동율을 1%로 정하였으므로,

$$V = \frac{V}{100} = 30 \text{ kV} \times \frac{1}{100} = 300 \text{ V}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{100 \times 10^{-6} \times \frac{1}{200}}{300} = 2.77 \mu\text{F}$$

이 된다. 그러므로 2.77 μF 이상의 capacitor를 filter 부분에 사용하면 1%의 전압변동율을 얻을 수 있다.

실험에서는 4 μF, 20 kV capacitor를 3개 직렬로 연결 후 다시 2개를 병렬로 연결하여 2.66 μF를 구하였다.

정류기는 내압이 12 kV 이고 350 mA 전류를 흘릴 수 있는 GENERAL INSTRUMENT CORP. 사의 HVPR15-12를 4개씩 직렬로 연결하여 사용하였다.

Laser 방전관에 과전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 100 mA 이상 전류가 부하에 흐를 경우 R 양단에 전압강하가 Relay K 의 동작전압 이상이 되므로 입력 전원을 차단하도록 설계 하였고, R 값을 가변하므로써 부하에 흘릴 수 있는 최대전류를 정할 수 있도록 하였다.

Power Supply의 전압가변을 사용자의 안전성을 위하여 AC motor를 사용하여 원격지에서 slidac를 조정하도록 설계 하였다.

실험에 사용한 레이저 방전관은 관내에 균일한 plasma 밀도를 유지하기 위하여 양극을 2개 설치하였으므로, 양전극에 ballast 저항을 각각 설치하여 양쪽 방전관의 특성이 일치하지 않는 경우나 어느 한쪽이 먼저 방전을 개시하더라도 계속 일정한 전압을 각각 유지하도록 하였다.

V. 결 론

한국표준연구소에서는 기초과학 분야의 연구에서 중요한 역할을 하는 분자이온, 자유기등의 진동, 회전상수 및 미세구조 상수의 측정등에서 뛰어난 성능을 발휘하는 레이저 자기공명분광기의 개발을 수행하고 있는데, 1988년 6월 시작된 제1차년도 연구에서는 복사원으로서 파장 5 ~ 8 μm 대에 걸쳐 광대역 동작하는 cw CO 레이저를 설계 제작하였는데 그 개요는 다음과 같다.

레이저 시스템은 가능한한 간소화 하기 위해, 하나의 반침대 위에 설치하였는데 반침대로는 잠음 (열 및 진동) 격리 효과가 뛰어난 석봉 (granite bar)를 사용 하였다. 레이저 공진기는 특정의 진동-회전 천이에서의 발전선을 선택하기 위해 회절격자-모퉁거울쌍으로 구성 하였는데, 회절격자는 과장 선택 능력을 높이기 위해 정밀조정이 가능한 rotator의 Mount 위에 설치하였으며, 반사경은 출력율 이득분포의 최대치에서 안정화 시킬 수 있도록 조정하기 위해 PZT 위에 설치하였다. 한편 수분에 의한 intra-cavity absorption을 방지하기 위해 공진기는 알루미늄제의 진공상자를 제작하여 그 속에 설치하였다. 방전관은 pyrex 유리관을 사용하고 균일한 방전을 얻기 위해 레이저관의 중심에 공동의 음극을, 양단에 양극을 설치하는 방식을 택하였다. 레이저 성능에 지대한 영향을 미치는 가스의 냉각을 위해, 냉매로서 액체질소를 사용하였으며, 냉각효과를 높이기 위해 액체질소 속에서 레이저관의 가스주입부는 나선형으로 하였고 온도상승에 의해 증발되는 액체질소의 감소분을 보충하여 항상 일정한 양을 유지할 수 있도록 자동공급장치를 사용하였다. 본 연구는 과학기술처 특정연구과제의 일환으로 수행 되었다.

Reference

- [1] K.M. Evenson, et al., Phys. Rev. Lett. 21, 1038 (1968)
- [2] 조성호, 자기공명방법, 대우학술총서자연과학, 제 26권, 민음사, 서울 (1985)
- [3] K.M. Evenson, Faraday Dissuss. Chem. Soc. 71, 7 (1981)
- [4] J.M. Brown, et al., Mol. Phys. 33, 589 (1977)
- [5] S.W.C. John, et al., J. Chem. Phys. 67, 2427 (1977)
- [6] Y.P. Kim, et al., 4th Conference on Waves and Lasers, ETRI, Korea, 70 (1989)
- [7] R.M. Osgood, et al., Appl. Phys. Lett. 13, 409 (1968)
- [8] J.T. Yardley, J. Mol. Spec. 35, 314 (1970)
- [9] D.K. Rice, Appl. Opt. 13, 2812 (1974)
- [10] K. Onda, et al., Cir. of Electrotechnical Lab. 190, 59 (1976)