

가돌리늄의 광이온화를 위한 다이오드 레이저의 제2고조파 발생장치 개발

(Development of Frequency Doubling Cavity
for Resonant Photoionization of Gadolinium)

글/영남대학교 물리학과 이종훈 교수

가돌리늄(Gd)은 핵연료의 사용 수명을 연장 하므로써 경제성을 향상시키기 위하여 핵연료에 주입하는 가연성 독극물로 사용되는 원소이다 (1). 또한 의료 분야에서는 MRI등의 촬영에서 해상도를 높이는 조영제로 사용되고 있다. 천체 물리학에서는 운석에 포함된 가돌리늄의 동위원소 분포를 조사하여 태양계 원소의 생성기원을 추적한다.

이러한 목적을 달성하기 위해서는 가돌리늄을 광이온화시켜야 한다. 광이온화 반응을 위하여 가돌리늄은 원자 증기 형태로 변환된다. 원자의 속도가 매우 빠르므로 가돌리늄의 광이온화 효율을 상승시키기 위해서는 레이저의 반복률을 수십 kHz로 상승시켜야 한다. 따라서 반복률이 수 kHz인 구리증기 레이저 여기 색소레이저가 가장 많이 사용되었다. 그러나 색소레이저는 사용이 불편하고 수명이 짧아서 빈번히 교체 해주어야 하는 불편함이 있다. 따라서 사용이 간편하고 안정적인 고체레이저를 이용하고자 하는 노력이 최근 매우 활발히 이루어지고 있다. 희토류 원소의 이온화를 목표로 개발되어지고 있는 고체 레이저는 Ti:Sapphire 레이저와 다이오드 레이저가 대표적이다.

Ti:Sapphire레이저는 수 kHz의 반복률을 가진 다이오드 여기 Nd:YAG레이저를 이용하여 여기한다(2). 펄스형이므로 첨두 출력이 매우 높아서 이온화 효율도 높다. 따라서 현재로서는 가장 알맞은 레이저로 평가된다. 그러나 Ti:Sapphire레이저는 다이오드 레이저가 Nd:YAG 레이저를 여기하고 이것을 제2고조파 변환시켜 Ti:Sapphire 레이저를 여기하므로 에너지 전하 효율이 비교적 낮다. 따라서 다이오드 레이저를 직접 원자의 여기 및 이온화에 사용할 수 있다면 에너지 효율은 비약적으로 증가할 것이다.

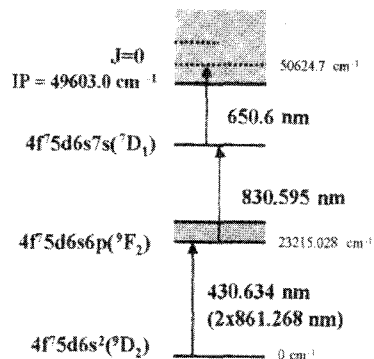


그림 1. Ionization path of Gd

다이오드 레이저는 반도체 기술의 진보에 힘입어 현재 매우 빠른 속도로 개발이 진행되고 있다. 현재의 단일모드 다이오드 레이저 출력은 수백 mW 정도에 머물고 있다. 그러나 이온화에 사용될 수 있는 다중모드 레이저의 경우 kW급까지 개발되어 있다. 다이오드 레이저 증폭기가 급속히 개발되고 있으므로 단일모드 레이저도 수십 W급으로 출력이 증가되는 것은 조만간 이루어질 것으로 판단된다. 따라서 미래의 기술 발전 추이 고려한다면 다이오드 레이저를 사용하여 직접 이온화시키는 방법을 개발해 두는 것은 큰 의미가 있다고 보아진다.

원자력 산업에 많이 이용되는 가돌리늄 등의 희토류 원소는 400 nm 근처의 자외선 파장에서 큰 여기 단면적을 갖고 있다. 그림1은 가돌리늄의 이온화 경로를 보여준다. 최근 자외선 파장이 나오는 다이오드 레이저가 개발되었지만, 파장 가변 영역이 3 nm 이하이고, 수명이 적외선 레이저에 비하여 짧고, 매우 고가인 단점이 있다. 적외선 영역의 다이오드 레이저는 이러한 단점은 없으나, 자외선을 얻기 위해서 제2고조파를 발생시켜야 하는 단점이 있다. 이 방법이 복잡하기는 하지만, 파장 가변 영역이 매우 넓으므로 전이 파장을 검색해야하는 연구의 목적으로는 적합하다고 판단된다. 발진 중심 파장이 780nm인 다이오드 레이저(Sharp, LT024MD)는 비교적 큰 출력이 나오면서 저가이다. 이 레이저를 Littrow 회절결자를 사용하여 단일모드로 발진시킨 다음에, 외부에서 주파수를 배가시키기 위한 공진기를 설계하였다. 이 공진기의 구조는 그림 1에 나와 있다. 다이오드 레이저는 96%의 반사율을 가진 평면경을 통하여 공진기에 입사된다. 입사된 빔은 평면경(R>99%, 750-850nm)을 통하여 반사되고 이것은 초점거리 2.5cm의 오목 거울을 거친 다음에 되돌려진다.

공진기에 갇힌 레이저빔의 직경이 가장 작은 곡면거울의 중심에 비선형 결정을 두어서 제2고

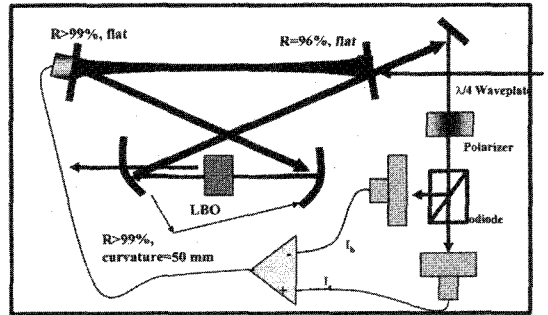


그림 2. Schematic diagram of ring resonator designed for second harmonic generation of diode laser

조파변환효율을 상승시켰다. 이 위치에서의 빔직경은 고리형 공진기에서 짧은 팔을 가진 곳의 길이(곡면거울 사이의 거리)에 의하여 크게 영향을 받으며, 비선형 결정의 길이도 고려하여 최대의 효율이 생기도록 해야 한다. 제2고조파 발생을 위하여 5×5×10 mm 길이의 LBO 결정을 사용하였다. 이 결정은 KNbO₃나 LiIO₃에 비하여 비선형 계수는 작은 편이나, 제2고조파 파장 발생 영역이 매우 넓고 외부의 습기에 매우 강한 장점이 있다. 공진기의 한쪽 평면 거울에는 PZT를 부착하여 공진기 길이를 조절할 수 있게 하였다. 공진기의 길이는 다이오드 레이저의 파장 변화가 발생하면 공진 모드가 일치되도록 하는 방향으로 조절한다. 공진기 내부의 빛은 공진 조건에서 벗어나면 위상변화 δ 가 발생하여 편광 상태가 변화한다. 부분 거울을 통하여 새어나온 공진기 내부 광의 편광 변화는 1/4 편광판을 거쳐 편광자에서 나누어진다. 편광 상태가 변하면 편광자에서 나누어지는 빔의 세기가 달라지므로 다음 장의 식과 같이 I_a - I_b 에 비례하는 전압이 PZT에 가해진다(T: 입사빔세기, T: 공진기의 반사율, T1: 공진기 거울의 반사도). 전압은 공진기에서 되반사하는 다이오드 레이저의 편광변화에 비례하므로 항상 공명상태가 유지된다.

$$I_a - I_b = T \frac{T_1 R \sin \theta}{(1-R)^2 4 R \sin^2 \delta / 2}$$

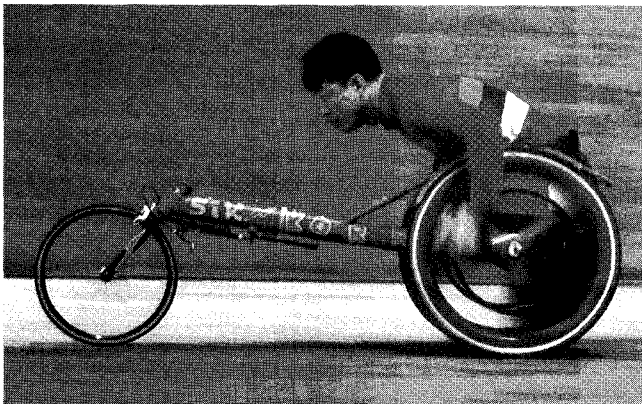
제작된 공진기의 길이는 30.6cm이며, 곡면경 사이의 길이는 58mm이다. 이 때의 모드 직경은 자오면으로 27.7 μ m, 구결면으로 27.6 μ m이어서 원형에 가까운 빔의 발생이 용이하게 하였다.

1. M. I. K. Santara, A. S. Daavittila, H. M. Lauranto, R. R. E. Salomaa, Appl. Phys. B 64, 339(1997)
2. Jonghoon Yi, R. Horn, K. Wendt, '9th International Symposium on Laser Spectroscopy, 67(2001)
3. T. W. Hansch, B. Couillaud, Opt. Comm., 35, 441(1980)

사진전 소식

제21회 대한민국사진대전 개막

6월 19일~9월 8일까지 서울, 거창, 제주, 울산 등에서 전시

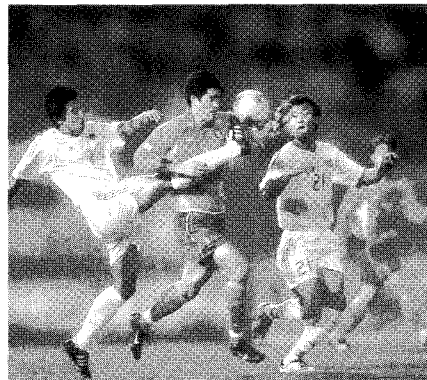


기 간	지역	장 소
2002. 6. 19~7. 1	서울	한국문화예술진흥원 미술관
2002. 7. 9~7. 13	거창	거창사회복지회관
2002. 7. 21~7. 25	제주	제주도 문예회관 대전시실
2002. 9. 5~9. 8	울산	울산문화예술회관 제 4전시실

◀ 대한민국사진대전 대상을 수상한 김옥춘씨의 '불혼의 투혼'



▲ 디지털 사진 작품으로 우수상을 차지한 김주식씨의 '열정의 혼'



▲ 월드컵 열기와 때를 같이하여 눈길을 모으는 김현국씨의 '용쟁호투' (특선)