

LBO 결정을 이용한 고반복률 펄스 UV 발생

High-Repetition-Rate Pulsed UV Generation by using LBO crystals

임 권, 한재민, 고광훈, 김택수, 차용호, 노시표, 박현민, 정도영

양자광학기술개발센터 한국원자력연구원

gwonlim@kaeri.re.kr

펄스 UV 레이저는 원자분광학, 광리소그래피, 광화학반응, 바이오 생물학 및 마이크로 머시닝 등 과 같은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 여기에 펄스의 반복률이 높아지면 평균출력이 높아지면서 레이저광과 물질사이의 반응이 활발히 이루어져 보다 많은 물리적 현상을 이해하는 데 도움을 준다. 특히 레이저를 이용하여 안정동위원소를 분리하는 실험에서는 수십 kHz 정도의 높은 펄스 반복률로 평균출력을 높여 레이저에 의한 특정 동위원소의 광펌핑 효과를 극대화하게 된다. 이렇게 고반복률의 펄스 레이저들은 수십 ~ 수백 W급의 레이저 출력을 사용하게 된다. 이때에 파장변환을 위하여 비선형 매질을 사용할 경우, 비선형 매질의 선택은 파장변환 레이저에 대한 변환효율과 출력 및 빔 질에 많은 영향을 주게 된다. 따라서 고반복률, 고출력으로 인한 매질 내부에서의 열적 문제와 매질 표면에서의 광 손상 등이 레이저 빔 질을 좌우하는 주요한 요소가 된다. 펄스형 파장가변 레이저인 Rhodamine 계열 색소 레이저와 색소 레이저 증폭기를 사용하여 고출력 가시광 레이저를 발생시키고, 중심파장 580 nm의 색소 레이저를 자외선으로 변환하여 안정동위원소 Tl-203 생산에 광 펌핑 레이저로 사용한다. 본 연구에서는 색소 레이저의 제 2 조화파 발생을 위하여 비선형 매질인 LBO 결정을 이용하여 공간적으로 양질의 가우시안 빔을 얻게 된 결과와 출력 및 빔 질에 관한 특성을 보고한다. 또한 레이저 출력에 따른 열적현상으로 인하여 발생하는 레이저 빔 질의 변화와 출력변화에 대하여도 조사하였다.

녹색광 펌핑 레이저로서 고반복률 Nd:YAG 레이저의 제 2 조화파가 사용되었고 평균출력은 약 30 ~ 50 W 정도의 레이저들이 6 대가 사용되었다. 총 200 W 정도의 532 nm 펌프광이 사용되었고 색소 레이저와 펄스 UV 발생 구조는 그림 1과 같은 구조로 이루어져있다. 색소 레이저 발진기는 Littrow형 발진기로서 내부에 피네스가 높은 에탈론을 장착하여 선폭을 좁게 하며 주파수 안정화 장치를 이용하여 색소 레이저의 파장이 변화하지 않도록 한다. 표 1은 532 nm 펌프 레이저와 색소 레이저의 출력 특성을 나타내고 있다. Rh-610 레이저 색소를 사용하는 발진기와 1단 증폭기에서는 색소 레이저의 변환효율이 각각 1.7%와 17%이었고, PM-597 레이저 색소를 사용하는 2단에서 6단까지 각각의 증폭단에서의 변환효율을 보면 약 40%정도로 출력을 냈으며, 색소 레이저 시스템의 총변환효율은 약 38%를 나타냈다.

LBO 결정은 $4 \times 4 \times 15$ (mm)³의 크기로서 Type-I 형태의 위상정합조건을 갖는다. 따라서 색소 레이저의 선 편광 방향과 UV 레이저의 선편광 방향은 서로 수직을 이루게 된다. 색소 레이저의 출력을 약 50 W정도 까지 변화시키며 LBO 매질에 입력하였고, 이때 발생하는 제 2 조화파는 그림 2와 같이 약 10 %의 변환효율을 갖는 UV 레이저를 얻을 수 있었다. 색소 레이저의 약 10%정도를 UV로 변환시키므로 나머지 90% 정도의 색소 레이저를 더 활용할 목적으로 LBO 결정을 하나 더 사용하여 제 2 조화파를 발생시켜 두 개의 UV 레이저를 PBS로 결합하여 사용한다. 이렇게 하여 색소 레이저 약 50 W를 사용하여 펄스 UV 약 8 W를 발생하였다. 그림 4는 색소 레이저와 펄스 UV 레이저의 공간적인 빔 질 모양을 보여주는 사진이다. 원형 가우

시안 빔 형태의 레이저 빔 질을 가지고 있으며 색소 레이저의 M2(<10) 값과 유사한 빔 질 특성을 갖기 때문에 UV 레이저 빔의 직경 조절과 장거리 전파에 유리하여 안정동위원소 생산용 챔버에 전달하기 용이하게 사용되었다.

표 1. 색소 레이저 발진기 및 6단 증폭기의 출력 및 변환효율.

색소 레이저	색소 레이저 출력(W)	펌프 레이저 출력(W)	변환효율(%)	레이저 색소
발진기	0.17	14	1.2	Rh-610
1단 증폭기	2.6	14	17	
2단 증폭기	9	25	25	34
3단 증폭기	20	26	42	
4단 증폭기-단일 전방 펌핑	32	29	41	PM-597
4단 증폭기-단일 후방 펌핑	38	45	40	
4단 증폭기-양방향 펌핑	52	74	43	
5단 증폭기	65	24	54	
6단 증폭기	75	23	43	
총합	75	200	38	

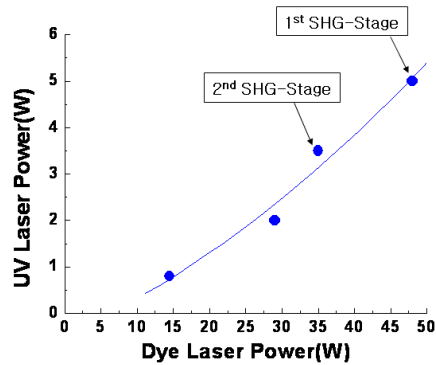
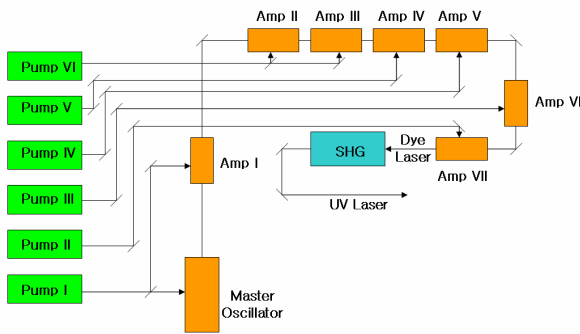


그림 1. 펄스 색소 및 UV 레이저 발생 장치도. 그림 2. LBO SHG 결정에서 UV 출력특성.

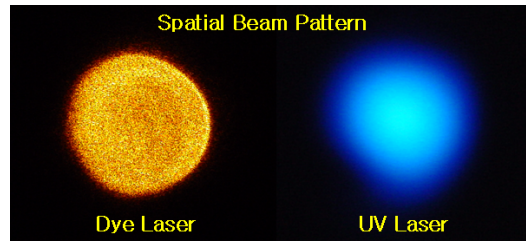
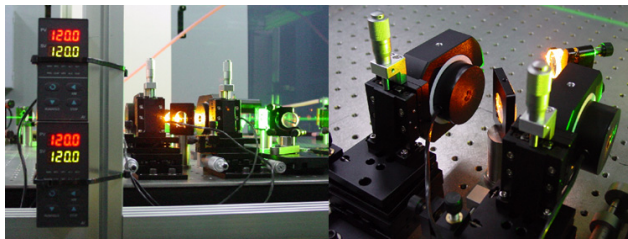


그림 3. 2중 제 2 조화파 발생장치. 그림 4. 색소 레이저 및 UV 레이저의 빔 모양.

[참고 문헌]

[1] I. J. Evans, C. E. Webb, Opt. Commun. **113.**, p. 72(1994).
 [2] O. Prakash, S. K. Dixit, R. Bhatnagar, Appl. Opt. **44.**, p. 1719(2005).
 [3] A. A. Isaev, D. R. Jones, et. al. Opt. Commun. **132.**, p. 302(1996).
 [4] D. W. Coutts, IEEE J. Quantum Electron. **31.**, p. 2208(1995).
 [5] N. Hout, C. Jonin, N. Sanner, E. Baubeau, E. Audouard, P. Laporte, Opt. Commun. **211.**, p. 277(2002).
 [6] R. I. Trickett, M. J. Withford, D. J. W. Brown, Opt. Lett. **23.**, p. 189(1998).
 [7] T. Kojima, S. Konno, S. Fujikawa, K. Yasui, K. Yoshizawa, and et al., Opt. Lett. **25.**, p. 58(2000).
 [8] D. J. W. Brown, M. J. Withford, Opt. Lett. **26.**, p. 1885(2001).