



선형공진기를 갖는 DPSSL의 TEM₀₀ 모드발전 및 Intracavity SHG 특성

(Characteristics of TEM₀₀ Mode Operation and Intracavity SHG for the DPSSL with Linear Cavity)

글/한국원자력연구소 양자광학기술개발팀 이상만, 김용기, 김선국, 정도영, 차병현, 김철중

다이오드 여기 고체레이저(DPSSL, Diode-Pumped Solid State Laser)는 레이저 마킹기, 미세가공기, Ti:sapphire 및 각종 레이저 매질 여기, 의료기기, 그리고 군사용 계측기 등에 다양하게 사용되고 있다. 이러한 응용분야들에 효과적으로 사용되기 위해서는 레이저 출력, 빔모드, 펄스폭, 파장 등이 응용분야에 적합하도록 설계되어야 하며, 고반사율을 갖는 금속의 가공 및 마킹, 그리고 몇가지 레이저 매질의 여기원으로 사용되기 위해서는 짧은 펄스폭과 고품질을 갖는 녹색 파장의 DPSSL 개발이 필요하다. 특히, 반도체 산업용에는 비슷한 특성의 자외선 파장의 DPSSL이 요구되고 있다.

광음향(AO, Acousto-Optic) Q-스위칭된 고효율의 녹색 레이저를 발생시키기 위해서는 비선형 결정내에 기본파장 레이저 강도를 높이는 것이 필요하며, 이를 위해서 L-V, 혹은 Z-형 공진기가 비선형 매질내 레이저 빔의 강도를 높이고 효과적으로 녹색 레이저 빔을 추출할 목적으로 지금까지 사용되었다. 그러나 이러한 구조의 공진기들은 레이저 공진기의 길이가 길어지므로 AO Q-스위칭시 발생하는 레이저 펄스의 펄스폭이 길어지는 단점이 있고, 레이저 매질의 여기나 자외선 레이저 발생시 효율이 저하되는 문제점을 야기하게 된다.

반면, 선형 레이저 공진기는 짧은 공진기 길이를 갖도록 설계가 용이하며, AO Q-스위칭시 짧은 펄스폭을 얻을 수 있다. 또한 레이저 매질의 열렌즈 현상에 의해서 평면-평행 공진기를 구성할 경우 공진기내 모드크기의 최소지점이 레이저 출력경 위치에 형성되므로, 이를 효과적으로 이용할 경우 충분히 작은 모드 크기를 비선형 결정내에 형성하는 것이 가능하다. 그림 1은 선형 레이저 공진기 내부에 제2차 조화파 발생(SHG, Second Harmonic Generation) 장치가 설치된 녹색 레이저의 개략도를 보여주고 있다.

기본파장에서 Q-스위칭된 레이저의 펄스폭과 레이저출력을 출력경의 반사율과 펄스반복률을 달리하여 조사하였다. 레이저 활동 매질 끝면과 공진기 거울사이 최소의 광학적 경로 $d=69\text{mm}$ 에 대해서 레이저 출력경의 반사율 60%, 펄스반복률 10 kHz를 갖고 측정된 레이저 평균출력은 100W(IR), 펄스폭 54ns로 기존의 비슷한 레이저 출력을 갖는 상업용 레이저에 비교하여 매우 우수한 짧은 펄스폭이 얻어졌다. 펄스반복률 5 kHz에서는 평균 레이저 출력은 약 57 W(IR)로 감소되었으나, 이때 측정된 펄스폭은 37ns로 상당히 짧으며, 짧은 펄스폭이 요구되는 분광학 및 레이저 가공에 매우 유용하게 이용될 수 있다. 레

⑤ 선형공진기를 갖는 DPSSL의 TEM₀₀ 모드 발진 및 Intracavity SHG 특성

이러한 펄스폭은 펄스반복률을 감소시키면 더욱 짧아지며, 5 kHz 이하의 펄스반복률을 사용할 경우 AO Q-스위치의 효과적인 동작을 위해서는 레이저 출력경의 반사율을 줄여 공진기내 펄스출력강도를 줄이는 것이 필요하다. 최소공진기 조건에서 측정된 최소펄스폭은 3 kHz의 펄스반복률에서 약 33ns로 측정되었으며, 이때 레이저의 출력은 약 38 W(IR)이며 사용된 출력경 반사율은 40%이다. 그림 2는 최소공진기 조건에서 출력경 반사율 60%를 갖고 측정된 펄스반복률에 따른 레이저 출력과 펄스폭의 변화를 보여주고 있다.

레이저 활동매질 끝면과 레이저 거울사이의 광학적 경로 $d=147$ mm인 대형 선형공진기를 구성하고 비선형 매질인 GTR-KTP(Type-II, $5 \times 5 \times 5$ mm³)를 사용하여 Q-스위칭된 녹색 펄스레이저를 발생시켜, 펄스반복률 10 kHz에서 레이저 출력 약 73 W(532nm), 펄스폭 약 40us를 얻었다. 5 kHz의 펄스반복률에서 레이저 출력은 약 40 W(green)이며, 이때 녹색 레이저 펄스폭은 약 35 ns 이다. 그림 3는 펄스반복률에 따른 녹색 레이저 출력과 펄스폭의 변화를 보여주고 있다. 비교를 위해서 동일한 공진기 거리 조건에서 그림 1의 이색거울(DM, Dichroic Mirror)과 KTP 비선형 결정을 제거하고, 60%의 최적 출력경 반사율을 사용하여 기본레이저 파장에서 측정된 펄스 반복률의 변화에 따른 레이저 출력과 펄

스폭의 변화를 측정하였다. 기본 파장에서 10 kHz에서 동작시 측정된 레이저 펄스폭이 약 72ns이므로 SHG에 의해서 40ns로 펄스폭이 상당히 감소함을 알 수 있다. 기본파장에서 10kHz 동작시 IR 출력은 약 87 W이었으며, SHG에 의해서 발생된 73W(green)는 IR 출력의 약 84%에 해당한다. 이 결과는 선형레이저 공진기를 이용한 내부공진기(Intracavity) SHG 장치에서 작은 크기의 레이저 모드가 형성되는 출력경과 가까운 위치에 비선형 매질을 두고 짧은 공진기를 구성하여 레이저 펄스폭을 줄일 경우 고효율의 녹색 레이저 발생이 가능함을 보여주고 있다.

기본 레이저 파장에서 TEM₀₀ 모드를 갖는 DPSSL을 개발하기 위해서 TEM₀₀ 모드가 레이저 매질내에서 최대한 형성되는 레이저 공진기를 구성하였다. 레이저 결정 가까이 설치된 1.8과 2.0mm의 직경을 갖는 편홀은 멀티코드를 갖는 레이저 빔을 제거하는 역할을 한다. 직경 1.8mm인 편홀을 사용하였을 경우 TEM₀₀ 모드에서 약 25W의 출력을 얻었으며, 이때 M² 레이저 빔질 인자는 약 1.2 이하로 추정된다. 직경 2.0mm인 편홀을 사용하였을 경우 TEM₀₀ 모드에서 약 42 W의 출력을 얻었으며, 이때 M² 레이저 빔질 인자는 약 1.5로 측정되었다. 그림 4는 직경 1.8mm인 편홀을 사용한 경우의 레이저빔의 공간분포를 보여주고 있다.

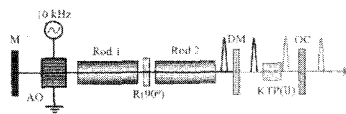


그림 1

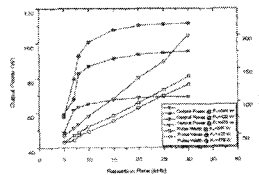


그림 2

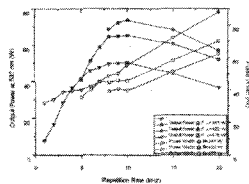


그림 3

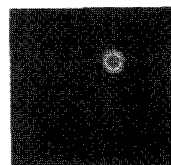


그림 4