

광섬유 전처증폭단을 이용한 융합형 DPSSL 기반 Development of hybrid DPSSL with fiber based preamplifier

*#노영철, 이영막, 신우진, 유봉안, 정경수¹

* #Y.-C. Noh(ycnoh@gist.ac.kr), Y. L. Lee, W. Shin, B.-A. Yu, C. Jung¹

¹광주과학기술원 고등광기술연구소

Key words : Hybrid, MOPA, DPSSL, Fiber laser,

1. 서론

레이저 가공 기술은 전자산업 등의 정밀 부품 가공을 위해 점점 더 초정밀화, 초고속화, 대면적화 가공으로 기술 발전이 이루어지고 있다. 특히, 반도체, 디스플레이, 태양전지, 차세대 고부가/고기능 PCB, 차세대 패키징 산업 등을 포함하는 마이크로 전자산업 분야의 고정세 부품을 가공하기 위해서는 초정밀 가공이 필수적이다.

이러한 마이크로 크기의 초정밀 가공을 위해서 고성능 레이저가 요구된다. 가공의 미세화를 위해 자외선 영역의 레이저를 이용하거나, 펄스폭이 짧은 극초단 펄스 레이저를 이용하는 방법이 이용될 수 있다. 극초단(펨토초) 펄스 레이저는 아직 안정성 및 사용자 편의성, 유지보수 측면에서 산업용으로 사용하기에 부족한 면이 있다. 고속화 및 대면적 가공을 위해서는 고반복률, 고출력의 펄스 레이저가 요구된다. 이와 같은 필요에 따라 고품질 고출력의 자외선(UV) 레이저가 초미세 레이저 가공기의 광원으로 사용되고 있다.

고품질의 자외선 펄스 레이저는 일반적으로 Nd:YAG 나 Nd:YVO₄ 등을 이득 매질로 하여, 높은 출력의 적외선 (1064 nm) 펄스를 발생하고, 이를 비선형 파장 변환 방법 (SHG, THG)으로 355 nm의 자외선 펄스로 변환하여 출력하는 방식으로 구성된다. 여기 방식으로는 기존의 flash lamp 비해 비교적 부피가 작으면서도 높은 출력 안정성과 뛰어난 광효율을 가진 LD 여기방법이 주를 이루고 있다. 펄스 동작을 위해서 일반적으로 Q 스위칭 방법을 채용하고 있다.

최근에는 bulk 크리스탈을 대체하여 광섬유 기반의 UV 레이저가 발표되고 있다. 저출력의 경우 광섬유 레이저의 출력을 UV 파장으로 변환시키고, 고출력의 경우 광섬유 레이저의 출력을 bulk 크리스탈로 고출력으로 증폭하여 파장변환을 통해 UV 출력을 내고 있다[1-2]. 이와 같은 광섬유와 bulk 크리스탈을 이용한 복합형 UV DPSSL은 광섬유 레이저의 장점인 뛰어난 안정성, 우수한 빔 품질, 구성의 간결함, 유지보수의 용이성 등의 특성을 활용할 수 있고, 동시에 bulk 크리스탈을 이용한 고출력이 가능한 특성을 갖는다.

복합형 DPSSL은 진단부를 광섬유 기반의 증폭기로 구성함으로써 다양한 펄스 발생 방식을 적용할 수 있는 장점을 갖는다. 씨앗빔 발생기를 광섬유로 구성된 Q 스위치 공진기로 구성하거나, 연속출력의 빔을 광 변조기를 통하여 변조하거나, 또는 전류 변조를 통한 펄스 동작하는 LD로 구성할 수 있다. 외부변조기 또는 펄스 동작 LD를 이용할 경우에 Q 스위치 공진기 방식에 비해 출력은 낮지만, 고반복률 및 초단 펄스가 가능하고, 펄스폭, 펄스 반복률, 펄스 모양 등의 펄스 파라미터를 독립적으로 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 펄스 파라미터의 가변은 각 레이저 가공 공정에 최적화된 맞춤형 가공기에서 요구하는 펄스 파라미터를 갖는 레이저의 공급을 가능하게 할 것이다.

본 논문에서는 맞춤형 초미세 레이저 가공기를 위한 복합형 구조의 DPSSL에 대하여 출력 특성에 대하여 기술한다.

2. 씨앗빔 발생기

LD 직접 변조 방식을 이용한 씨앗빔 발생기를 전류의 차동스

위칭 방법을 이용하여 구성하여 입력되는 전기신호와 관계없이 펄스폭 및 출력의 크기가 제어 되는 씨앗빔 발생기를 개발하였다. 그림.1은 본 과제에서 개발된 직접변조 방식의 씨앗빔 발생기의 구성도이다. 그림.1에서 보는 바와 같이 펄스폭 가변을 위한 제어기와 3개의 MOSFET로 구성되면 상단의 2개의 MOSFET는 차동 스위칭을 통하여 펄스를 생성하고 하단의 MOSFET에 의해 반도체 레이저 다이오드에 인가되는 전류의 양을 조정하게 된다. 제작된 씨앗빔 발생기는 최대 2A의 침투 전력 구동이 가능하고 약 1.5 나노초에서 수마이크로 미터의 펄스폭의 생성이 가능하며 최대 27 Mhz까지 펄스의 반복구동이 가능하다. 그림.2에 개발된 씨앗빔 발생기를 사용하여 생성된 펄스의 2 nsec 에서 1 msec의 펄스폭 가변 제어 특성을 나타내었다. 그림.2에서 보는 바와 같이 약 2 nsec에서 1 msec까지 자유로운 펄스폭의 가변이 가능하며 출력된 펄스의 폭은 출력의 세기와 상관없이 제어된다. 사용된 반도체 레이저 다이오드는 파장 1064 nm 이며, 최대 200 mW이상의 침투 출력이 발생하였다.

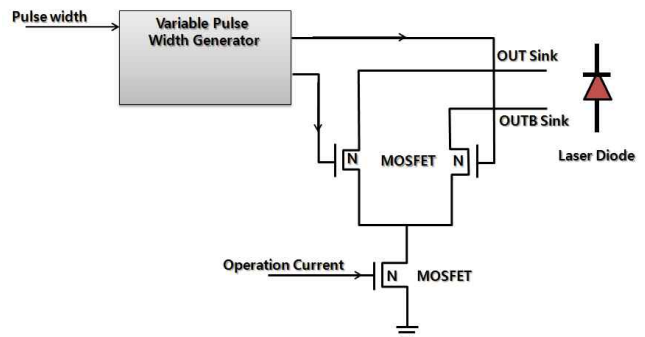


그림.1 씨앗빔 발생기 구조도

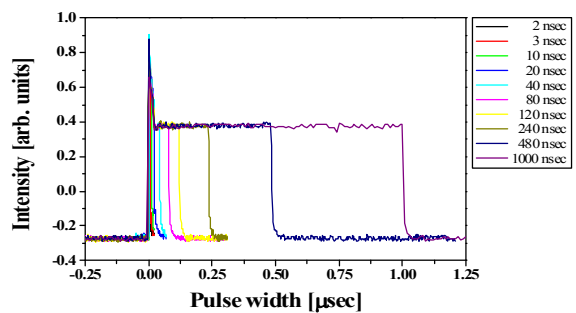


그림.2 씨앗빔 발생기의 펄스 가변 특성

3. 광섬유 전처 증폭기

씨앗빔 발생기로부터의 1mW 이하의 평균 출력을 bulk 크리스탈 주 증폭기를 통해 고출력으로 증폭하기 위해서는 그 사이에 전처 증폭단이 필요하다. 또한, 레이저 크리스탈에서의 높은 이득과 파장 변환 크리스탈에서의 높은 변환 효율을 위해서는 씨앗빔에서 나오는 단일 모드/선형 편광 특성을 유지해야 한다. 이를 위해서 모든 구성품들이 편광유지 광섬유로 연결된 광섬유

전치 증폭기를 구성하였다. 효율적이고 우수한 광 증폭 특성을 갖는 광섬유 전치 증폭기를 구현하기 위해 수백 mW급 단일 모드 광섬유 증폭기로 구성된 전치 증폭기 1과 고효율 증폭을 위한 10 W급 이중 클래드 (double-clad) 광섬유로 구성된 전치 증폭기 2를 광 고립기를 통해 연결하는 구조로 설계하였다. 광섬유 전치 증폭기의 출력단은 collimator와 고효율 광 고립기를 결합한 구조로 레이저 crystal에 공간적으로 입사하게 된다. 그림. 3은 광섬유 전치 증폭기의 구성을 나타낸다. 그림. 4는 광섬유 전치 증폭기의 출력 특성을 나타낸다. 전치 증폭기 1으로부터 출력 360 mW, 20 ns, 100 kHz 펄스가 들어올 때, 전치 증폭기 2에서의 결합 펌프 출력에 대한 펄스 평균 출력을 보여 주고 있다. 최대 20W 정도의 펄스 평균 출력을 얻을 수 있었다.

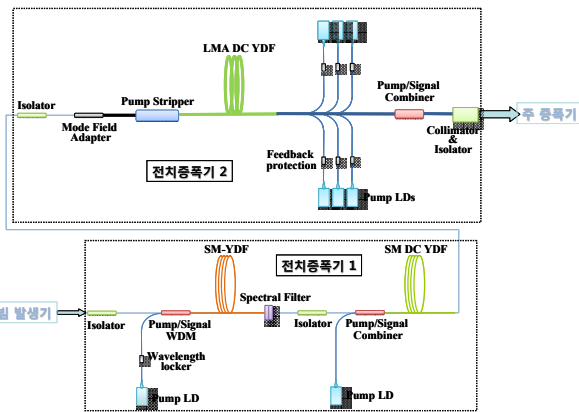


그림. 3 광섬유 전치증폭기 구성도

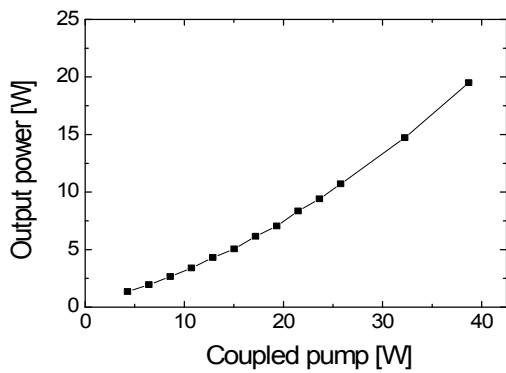


그림. 4 광섬유 전치증폭기 출력 특성

4. 크리스탈 증폭기

광섬유 전치증폭기에서 발진한 평균 출력 15 W의 레이저 광을 증폭시키기 위해, 레이저 발진 단면적 (emission cross section) 이 큰 장점을 가진 Nd:YVO₄ crystal을 이득 매질로 사용한 크리스탈 증폭기를 구성하였다(그림 5). 펌핑 방법은 고품질의 증폭된 레이저 빔을 얻기 위하여 종방향 여기(end-pumping) 방법을 선택하였고, 이때 양방향 펌핑을 이용하여 Nd:YVO₄ crystal의 전체 길이에서 비교적 균일하게 증폭된 레이저 빔을 획득하도록 구성하였다.

이색거울을 이용하여 Nd:YVO₄ crystal 에서 808 nm 빔과 1064 nm 빔의 모드를 증첩되게 하였다. 1064 nm 입사광의 세기를 15 W로 고정시키고, 808 nm 펌프 LD의 출력을 증가시키면서 측정한 최종 출력을 그림. 6에 나타내었다. 40 ns 펄스폭, 100kHz 반복률로 작동할 때, 90 W 펌프광 세기에서 약 41W의 광출력을 얻을 수 있었다. 펌프광의 세기에 따른 출력의 변동성은 crystal의

온도가 최적화되지 않아서 생겨난 결과이다. 기율기 효율은 대략 29 % 정도였다. 500kHz로 구동시에는 출력이 소폭 증가하여 90 W 펌프광 세기에서 44 W 정도의 출력이 가능하였다.

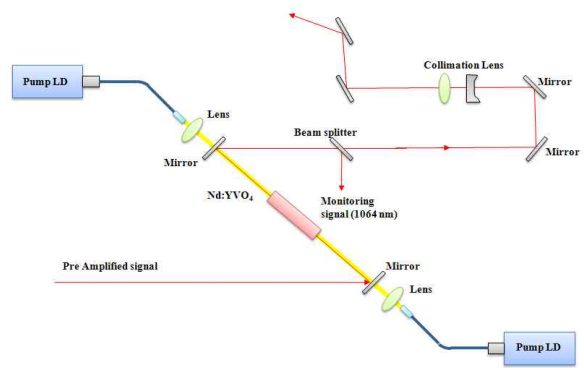


그림. 5 크리스탈 주증폭기 구성도

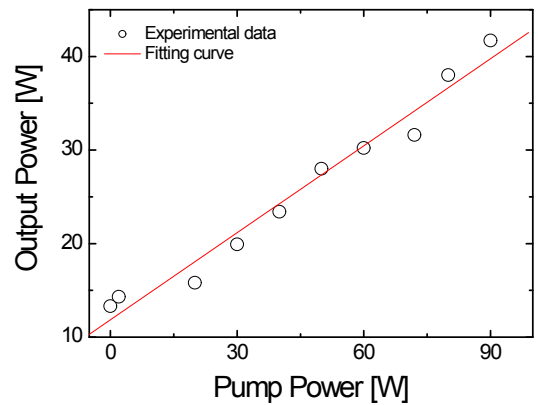


그림. 6 크리스탈 주증폭기의 펌프광 세기에 따른 출력

4. 결론

직접전류변조형의 LD 씨앗빔 발생기와 광섬유 전치증폭단 및 bulk 크리스탈 주증폭기로 구성된 복합형 MOPA 형식의 DPSSL을 개발하였다. 다양한 펄스 파라미터 변조가 가능하였고 광섬유 전치증폭기의 출력은 최대 20 W 정도였다. 펄스 파장은 1064 nm 이고, 반복률은 100-500 kHz 가변이 가능하고, 펄스폭은 20-40 ns로 작동하였다. 최대 출력은 40 W 이상까지 가능하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업(과제번호:10033786)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Yoshiharu Urata, et al., "Deep UV light generation by a fiber/bulk hybrid amplifier at 199 nm", Appl. Opt., 48, 1668.
2. Andrei N. Starodoumov, et al, "Hybrid fiber MOPA-bulk amplifier system for frequency conversion", Proc. of SPIE, 6871, 68710V.