기술논문

디스크 공진기를 이용한 레이저 기술 동향

김기영✉, 오명구
한국트럼프지엠비에이취㈜

Technology trend of Disk resonator type lasers

Kiyoung Kim, Myunggu Oh
TRUMPF KOREA Co., LTd. , TRUTEC Bd., 12 Worldcupbuk-ro, 56 Mapo-Gu, Seoul, 121-270, Korea

Abstract

This papers show new technology of thin disk type resonator lasers which are well kwon technology by TRUMPF.

Keywords: disk laser(디스크 레이저), pico second laser(피코초레이저), ultra short pulse laser(극초단펄스 레이저), disk resonator(디스크 공진기), TRUMPF(한국트럼프지엠비에이취(주))

1. 서 론

디스크형태의 레이저 공진기을 사용한 디스크 레이저는 연속출력모드 기반의 고출력에서 자동차 산업에 널리 이용되고 있다. 한국에서의 이러한 자동차 산업의 눈부신 발전은 절단, 용접, 드릴링 등에서 레이저 어플리케이션의 비약적인 적용 및 발전을 이끌었고 트럼프(한국트럼프지엠비에이취(주))사의 TruDisk 시리즈의 놀라울만한 판매 성장세를 보였다.

2009년 초에 출시된 트럼프사의 TruMicro 5000 시리즈와 TruMicro 7000 시리즈는 이러한 안정적인 디스크 테크놀로지를 기반으로 고정밀 초 단파 펄스 레이저를 요구하는 마이크로 어플리케이션 시장에서 다양한 양산 대응을 하고 있다.

따라서, 본 내용에서는 디스크 타입 증폭기술의 장점과 향후 기술 개발 동향에 대해서 소개하고자 한다.

2. 디스크 크리스탈 뒷면을 통한 효율적인 열 제어

디스크 레이저의 컨셉은 기존 로드 타입에 비해 쿨링효율을 극대화 할 수 있어 다이오드펌핑 양의 증가에 따른 열적 문제를 매우 효율적으로 제어 할 수 있다. **Fig.** 1은 기존 로드 타입 공진기와의 열적 관계를 잘 보여주고 있다. 로드 타입의 레이저는 기본적으로 외부표면에서 로드 핵까지 냉각율에 따라 온도편차가 나타난다.

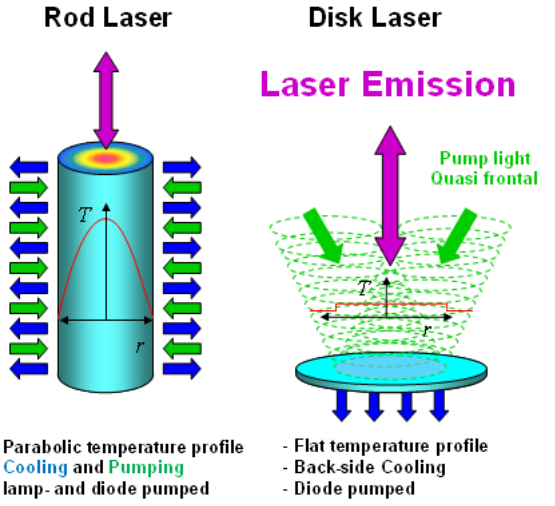

Fig. 1 Illustrateion of the thermal gradient due to different pumping schemes in a rod laser and a disk laser (Source: TRUMPF).

투고일 : 2012년 2월 7일 심사완료일 : 2012년 3월 16일
게재승인일 : 2012년 3월22일
교신저자 : 김기영 ✉ Kyuin.Um@TRUMPF.co.kr

그래프에서와 같이 우산모양의 온도 분포를 보여지게 되어진다. 이러한 열적 특성은 레이저매개체가 열챙창(thermal lens)효과를 일으키고 그로 인해 빔 퀄리티와 레이저 출력에 한계를 갖을 수 밖에 없다. 디스크 공진기의 경우 펌핑되는 면적과 동일하게 고반사 코팅이 되어진 디스크 크리스탈 뒷면을 통해 냉각을 하므로 편평하고 균일한 온도 분포를 유지할 수 있다. 크리스탈의 이러한 평행하고 균일한 온도 분포는 레이저의 퀄리티나 평균출력의 향상에 상당히 좋은점으로 작용을 한다. 또한, 얇은 디스크 공진기를 냉각판에 바로 부착하여 2차적인 냉각효과를 가져와 매우 우수한 레이저 증폭 환경을 유지시켜준다.

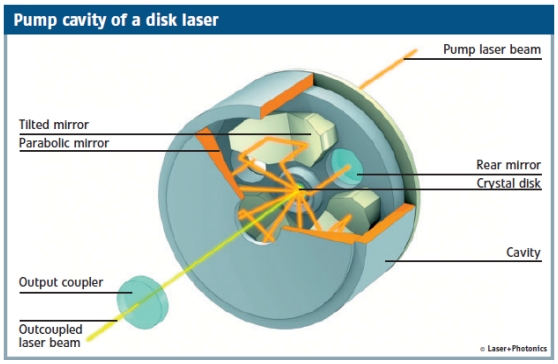

Fig. 2 A parabolic mirror focuses(Source: TRUMPF).

3. 다각형 미러를 통한 증폭기술

디스크 공진기의 이러한 장점에 반하여 얇은 두께의 디스크로 구성된 증폭기술에는 펌핑 되는 에너지를 흡수하는 효율이 낮아지는 단점을 걱정할 수 있다. 디스크 레이저의 다각형 미러 증폭 컨셉은 이러한 단점을 극복하기 위해 펌핑되는 빛을 다격형미러를 통해 재반사 하여 최대한 공진기 중심부에 위치한 디스크 크리스탈을 반복 펌핑하므로서 흡수를 최대화하여 극복할 수 있다.

Fig. 2는 전형적인 디스크 공진기 모양을 보여준다. 공진기 내부로 들어온 평행한 다이오드 펌핑 빛이 파라폴라 안테나 모양의 반사거울을 통해 공진기 안쪽 디스크 크리스탈을 향하고 일부 흡수되지 못한 빔은 디스크 공진기의 반대편의 고반사 코팅면을 맞고 재 반사되어 다른각도의 미러를 통하여 디스크 크리스탈을 재 펌핑하는 소스로 사용되어 진다. 이러한 일련의 반복 펌핑을 20회이상 지속하여 얇은 디스크 크리스탈의 낮은 에너지 흡수율에도 불구하고 높은 펌핑 에너지효율을 보여지게 된다.

4. 마이크로세컨드(μs) 펄스 증폭기술

공진기의 컨셉에 따라 큐스위칭(Q-swiching)된 펄스는 수백 나노초에서 수십 마이크로초까지의 펄스를 생산해 낼 수 있다. **Fig.** 3은 트럼프사에서 디스크 공진기를 이용한 펄스레이저를 구현한 파워 자료이다. 펄스 길이가 약 300 나노초급에 10kHz의 반복주기를 같는 레이저의 평균출력을 나타낸다. 이때 펄스에너지는 100mJ 까지 나타내며 순간 최대출력은 200kW 에 달한다.

이러한 고출력의 펄스레이저를 400μm 두께의 파이버에 빔을 전송하여 다양한 시스템 설계환경에 대응 가능하다. 또한 디스크 공진기 디자인 변경으로 최소 100 μm 파이버에도 전송 가능한 빔퀄리티 조정이 가능하다.

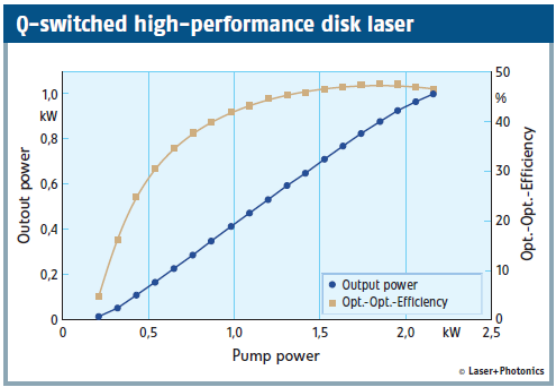

Fig. 3 Q-swiched high-performance disk laser. The laser is coupled to a 400um fiber. The pulse length is about 300ns(Source: TRUMPF).

5. 재생산 방식의 디스크레이저 증폭기술

이러한 디스크 증폭기술의 장점과 전기적 스위칭 랜즈(EOM)를 이용하면 보다 효율적이고 정밀한 극초단파 레이저를 생성할 수 있다. 펄스에너지는 기존 소위 강제응축방식(CPA, Chirped Pulse Amplification) 방식의 fiber 증폭방식보다 큰 펄스에너지를 생성해 낼 수 있다.

Fig. 4는 트룸프(TRUMPF) 사의 재 생산 방식 디스크 초단파 펄스레이저의 간략한 증폭기개략도이다.

이러한 빔증폭 방식으로 트룸프사는 최대 100W (IR @ 6 pico-second)의 파워를 50% 이상의 높은 펌핑효율로 달성하였다.[**Fig.** 5] 참조.

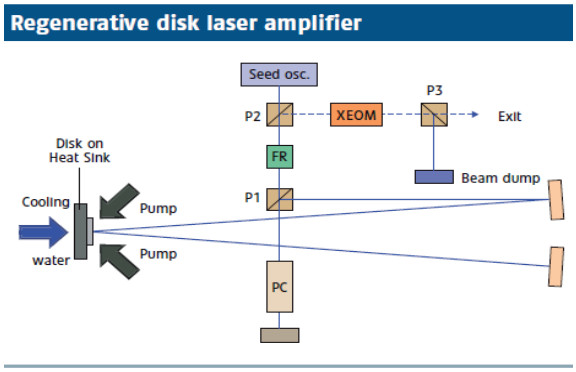

Fig. 4 Seed-Osc : Low power master pico-second seed pulses; P: polarizing beam spliter; FR:faraday rotator; PC : pockels cell; XEOM: external electro-optic modulator(Source: TRUMPF).

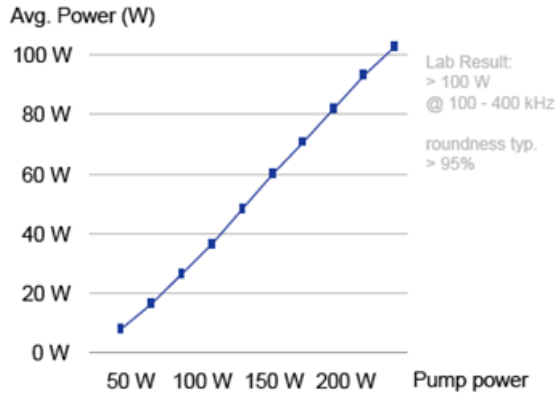

Fig. 5 TruMicro 5070 Laser output power(Source: TRUMPF).

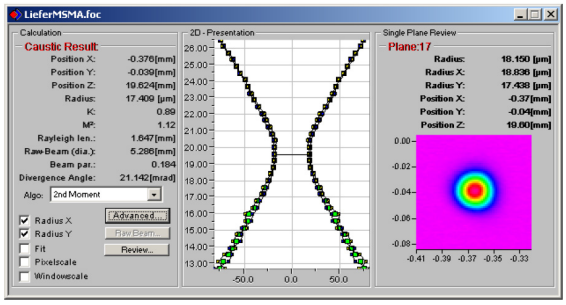

Fig. 6 TruMicro 5070 Beam quality(Source: TRUMPF).

빔의 퀄리티는 M^2<1.2를 유지하며 빔원형도 95% 이상의 최적의 마이크로 프로세스 레이저이다. 펄스에너지의 안정성 또한 1% 이내에서 조정되어진다.[**Fig.** 6] 참조

6. 디스크방식을 이용한 레이저 개발 동향

디스크방식의 증폭기술을 활용하는 트럼프사의 레이저들은 연속출력에서부터 극 초단파 펄스레이저에 까지 널리 이용 중이며 아래와 같은 기술개발을 달성하여 시장에 출시완료 또는 준비 중이다.[**Table 1**] 참조

7. 결 론

- 높은 평균 출력 + 높은 순간 최대출력
- 증폭기술의 신뢰성(꾸준한 빔퀄리티 유지)
- 경제성(펌핑효율의 극대화로 적은양의 펌핑으로 레이저 출력 극대화)

레이저 펄스모드에서의 다양한 펄스폭은 다양한 마이크로 가공 프로세싱 영역에서 레이저가공의 가능성을 열어주었으며, 이제껏 경험하지 못한 다양하고 훌륭한 가공 결과를 낳고 있다. 그러나 퀄리티 못지 않게 산업에서 요구되는 양산성은 마이크로초, 수십나노초 또는 수 피코초 영역의 펄스레이저에서 실제 양산가공 공정으로 결정되어지는 결정적인 요소로 작용하고 있는것이 사실이다.

디스크테크놀로지는 고출력의 레이저출력을 완벽한 빔퀄리티와 함께 제공함으로서 이러한 현장에서 요구되어지는 양산성을 십분 충족하며 앞으로 다양한 분야의 어플리케이션에서 상당한 관심과 성과가 기대되어진다.

Table 1 디스크타입의 공진기를 이용한 트럼프사의 레이저 종류 및 사양

Performance demonstrated with TRUMPF disk modules :

	av. Power	peak power	pulse energy	beam quality
CW :	20kW			8mm mrad
300 ns :	500W (Green)	30 kW	10 mJ	4mm mrad
ns ~ µs :	1.2 kW	3 MW	100 mJ	4mm mrad
< 10 ps :	>100 W	200 MW	1.6 mJ	TEM_{00} (Reg. Amplifier)