

# 다이오드 레이저 여기 고체레이저 개발 및 응용

## Development of Diode Pumped Solid-state Lasers and their Applications

김광석, 김진중  
주식회사 금광  
kskim2@kaeri.re.kr

### 1. 다이오드 레이저 여기 고체 레이저

다이오드 여기 고체레이저(Diode-Pumped Solid State Laser : DPSSL)란 짧은 파장 선폭을 가지는 다이오드 레이저를 사용하여 흔히 사용되는 고체레이저 매질인 Nd: YAG, Nd:YVO4, Nd:YLF, Yb:YAG, Tm:YAG 등을 여기(pumping)시켜 발진시키는 레이저를 말한다.

### 2. 다이오드 레이저 여기 고체 레이저의 특성

레이저 설계나 제작에서 가장 중요하게 다루어야 하는 변수는 레이저 발진에서 야기되는 열 처리(thermal management) 문제이다. 본질적으로 이러한 열은 전기적인 에너지가 레이저 광 에너지로 변환하는 효율이 한정되기 때문에 발생한다. 이러한 열원은 두 가지로 레이저 매질과 여기 광원에서 주로 발생된다. 레이저 매질에서 발생하는 열은 여기광원과 레이저 매질의 흡수 파장이 잘 맞지 않거나 레이저 매질의 흡수 파장과 레이저 발진파장이 크게 차이가 날 때이다. 다이오드 레이저는 섬광등(flashlamp, arclamp)에 비해 레이저 매질의 흡수 피크와 다이오드 레이저의 파장을 거의 일치시킬 수가 있고 선폭도 비슷해 다이오드에서 나온 빛의 대부분이 흡수되므로 에너지 전환효율이 20% 가까이 되어 열 발생이 상당 부분 억제된다. 레이저 매질에서 열이 크게 발생하는 경우, 레이저 매질의 열렌즈, 열왜곡 이득감소등을 야기하여 레이저 빔질, 출력효율등이 떨어진다. 다이오드 레이저는 이러한 점뿐만 아니라 비교적 다양한 파장을 발진시킬 수 있어 새로운 레이저 매질을 이용한 레이저 개발에도 유용한 여기 광원이 된다. 또한 다이오드 레이저를 여기 광원으로 사용하는 경우 전체적인 열 발생이 크게 억제되므로 냉각장치의 용량이 작아지고 이로 인한 부수적인 기능도 단순화되어 전체적인 레이저 크기가 작아지고 냉각수 및 전기 사용이 매우 줄어 레이저 사용의 유지비 적게 든다는 장점도 있다. 다이오드 레이저의 가격도 수명이 섬광등에 비해 십배 이상이므로 여기광원 교체 비용도 큰 차이가 없다. 다만 다이오드 레이저가 전기적으로 매우 취약하기 때문에 이를 개선하려는 노력이 계속되고 있다.

### 3. 다이오드 레이저 여기 고체 레이저 개발의 최신 동향

다이오드 레이저 여기 고체 레이저(DPSSL)의 최근 주목할 만한 개발 방향은 고출력, 고품질 레이저 개발, 초단파 펄스폭을 가지는 레이저, 짧은 파장의 자외선 레이저 개발등으로 크게 3 가지 분야로 진행되고 있다. 고출력 고품질 레이저의 한 방향은 매우 우수한 특성을 가졌음에도 저온에서만 효율적인 동작이 가능했던 Yb:YAG 결정을 상온 근처에서도 효율적으로 발진시키는 여기 구도를 개발하는 분야이다. 이 레이저는 얇은 원판모양의 Yb:YAG 결정을 종편평하는 구조를 사용해 열 문제를 해결했으며, 고출력에서도 광변환 효율이 50% 정도를 탁월하고, TEM<sub>00</sub>의 빔질이 출력에 변함 없이 유지되는 장점을 가지고 있다. 또한 주목 할 분야로는 DPSSL로 증폭시킨 Ti:Sapphire초단펄스 레이저의 개발이다. 이는 열의 발생 없이 원자층이 제거되는 장점으로 인해 가격의 인하와 시스템의 안정성이 확보되면 반도체 산업이나 MEMS 등의 고정밀 가공 분야로의 활용에 각광을 받을 것으로 전망된다. 한편, 외국의 많은 기업들이 다이오드 레이저 여기 자외선 레이저 개발에 크게 연구를 집중시키고 있다. 이는 DPSS Nd:YAG/Nd:YLF 레이저를 LBO나 CLBO등의 비선형 매질을 이용해 고조파를 발생시키는 방법인데 초정밀 가공용으로 출력이 수 W에서 십 W 사이인 355nm, 266nm 자외선(UV) 레이저가 상품화되어 시장에 진입해 있다.

#### 4. 국내 개발현황

(주) 금광의 DPSS 레이저 사업분야는 기본적으로 두 가지 분야로 나누어 추진해나가고 있다. 한 분야는 다이오드를 이용하여 레이저 발진기 완제품을 상품화하여 판매하고 있으며, 또 다른 분야는 DPSS 발진기를 제작할 수 있는 Diode Pumping Module를 개발하여 판매하고 있다. 현재 생산되는 제품은 Nd:YAG 및 Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저로 50 ~ 70W급 IR( $\lambda = 1064\text{nm}$ )레이저와 2~10W급 녹색광( $\lambda = 532\text{nm}$ )레이저 그리고 수백 mW급의 저 출력 레이저 등이 있다.

#### 5. 응용분야

DPSSL이 활용되는 대표적인 분야는 마킹, 구멍가공, 절단, 트리밍등 레이저 가공분야이다. 비교적 저출력이 사용되는 반도체 산업을 비롯해 자외선 레이저를 활용하는 미세가공 산업 분야에서는 활용도가 높아지고 있다. 예를 들어 PCB나 비금속, 세라믹 등에 미세한 구멍을 가공하는 micro-machining, via hole drilling, 반도체 패키징(package)의 표면에 문자를 인쇄하는 마킹(marking), 메모리 소자 등의 반도체 회로를 수정하는 repairing, 리소그래피의 각 단계에서 실리콘웨이퍼에 가공된 공정상태를 칩별로 기록하는 실리콘 마킹, 실리콘 scribing, 복잡한 전자 회로에 미세하게 가공된 박막을 벗겨내어 저항값을 정밀하게 조정하는 트리밍(trimming) 장치 등 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다.

DPSSL이 미세산업에서 가장 적극적으로 활용이 되고 있는 것은 레이저빔의 품질이 섬광등 여기 레이저에 비하여 월등히 우수하여 수 마이크로미터 이내의 초미세 가공이 가능하고 공정 가동의 연속성이 좋은 이유에서이다. 또 다른 활용 분야는 정밀 계측 분야로 초음파 기술과 결합된 레이저 울트라소닉(Laser Ultrasonic), 레이저로 환경 감시를 하는 Lidar, 레이저로 입자유체를 분석을 하는 분야, 간섭계등에 활용되고 있다.