

다이오드 여기 고체 레이저 시장 현황 및 전망

현재까지 DPSS 레이저는 저출력 고체레이저 시장을 완전히 장악한 단계이며, 중·저출력이 요구되는 레이저 마킹기 시장에서의 점유율을 매우 빠른 속도로 늘려가고 있다. 따라서 섬광등 여기 레이저가 차지하던 kw급의 대출력 시장 또한 DPSS 레이저가 빠르게 대체해 나갈 것으로 보인다.

글/영남대학교 물리학과 이종훈 교수 (hyi@yu.ac.kr)

1. 다이오드 여기 고체레이저의 중요성과 활용분야

중요성

다이오드 여기 고체레이저 (Diode-Pumped Solid State Laser; DPSSL)란 다이오드 레이저를 사용해 Nd:YAG, Nd:YLF, Yb:YAG, Nd:YVO4 등의 고체 레이저 매질을 여기 시킴으로써 레이저를 발진시키는 원리를 말한다. 이러한 방법을 사용하면 재래의 레이저 여기방법인 섬광등(flashlamp)을 이용해 여기 하는 방법에 비해 많은 장점이 있다. 즉, 레이저의 수명이 월등히 증가하고 출력이 안정되며, 열 부하가 적어 고출력에 용이하게 도달할 수 있으며, 공간모드가 TEM₀₀으로 발진되게 하거나 중모드가 단일모드로 발진하게 하는 것이 매우 용이하고, 레이저의 크기가 매우 축소되는 등의 다양한 장점이 그것이다.

이러한 장점이 가능하게 된 이유는 섬광등에 비해 다이오드 레이저의 스펙트럼 선폭이 매우 좁은 데 있다. 즉, 섬광등은 발광스펙트럼이 자외선 영역에서 적외선 영역에 이르기까지(0.2-

1.0 μm) 매우 넓게 분포하고 있는 것에 비해 Nd:YAG를 비롯한 레이저결정의 흡수스펙트럼은 몇몇의 특정 파장에서만 좁은 피크를 보인다. 따라서 섬광등의 경우, 전기에너지에서 빛에너지로 변환되는 효율이 높기는 하지만(약 40~60% 정도), 섬광등에서 발생된 빛이 Nd:YAG 매질에 흡수되는 효율이 매우 낮다. 따라서 에너지 전환효율이 2% 정도로 낮은 뿐만 아니라, 레이저 발진에 이용되지 않은 파장의 빛을 흡수하면 결정 내부에서 열로 변환되어 고체레이저 매질에 열부하를 가중시킨다. 이에 따라 열렌즈가 심해져 고출력을 얻기가 어려워지고, 열에 의한 복굴절 현상으로 인해 레이저빔의 출력 특성이 열화되기 때문에 고품질의 레이저빔을 발생시키는 것이 어렵다.

그러나 다이오드 레이저의 경우, 레이저 결정의 흡수 피크와 다이오드 레이저의 파장을 거의 일치시킬 수가 있고 선폭도 비슷해 다이오드에서 나온 빛의 대부분이 흡수되므로 에너지 전환효율이 20% 가까이 된다. 결국, 열로 변환되는 에너지가 적으므로 고품질의 레이저 발생이 가능하게 된다. 더구나 레이저 다이오드의 수명은

현재 약 수만 시간으로 선탐등에 비해 수십 배 길다. 따라서 자주 선탐등을 교체할 필요가 없으므로 레이저를 산업적으로 사용하는 공장의 가동률을 획기적으로 올리게 되는 것이다. 또한 최근 들어서 고가였던 다이오드 레이저의 가격이 생산의 증가와 기술의 진보에 힘입어 급속히 하락하면서 다량의 다이오드 레이저를 사용한 고출력 레이저가 일반화되는 추세에 있다.

활용분야

DPSSL이 활용되는 대표적인 분야는 레이저 가공기 시장이다. 특히, 비교적 저출력이 사용되는 반도체 산업을 비롯해 초미세기기 산업, 정밀기기 산업 분야에서는 활용도가 매우 높아지고 있다. 이러한 산업 분야에서는 PCB나 고정밀 금속, 세라믹 필터 등에 미세한 구멍을 가공하는 micro-machining, via drilling, 반도체 팩키지(package)의 표면에 문자를 인쇄하는 마킹(marking)기, 메모리 소자 등의 반도체 회로를 수정하는 memory repair, 리소그래피의 여러 단계에서 실리콘웨이퍼에 가공된 공정상태를 칩별로 기록하는 실리콘 마킹, 실리콘 scribing, 복잡한 전자 회로에 미세하게 가공된 박막을 벗겨내어 저항 값을 정밀하게 조정하는 장치 등 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다.

DPSSL이 반도체 산업에서 가장 적극적으로 활용이 되고 있는 것은 1) 레이저빔의 품질이 선탐등 여기 레이저에 비하여 월등히 우수하여 수 톱 이내의 초미세 가공이 가능하고 2) 공정 자동

표 1. 전 세계의 DPSS 레이저 판매량

판매 대수	가공기	의료용	장비	기초 연구	Entertainment	Image recording	측정	기타	전체
1999	1,615	1,202	893	449	525	333	175	225	5,417
2000	2,079	1,133	628	497	125	675	150	505	5,792
2001 (예측)	2,665	1,350	895	553	125	875	150	460	7,073

표 2. 전 세계의 DPSS 레이저 판매액

판매액 단위: 1,000\$	가공기	의료용	장비	기초 연구	Entertainment	Image recording	측정	기타	전체
1999	37,679	16,630	6,795	16,473	3,250	4,950	2,050	5,525	93,352
2000	59,673	12,233	5,138	24,266	1,250	26,650	2,250	12,620	144,080
2001 (예측)	77,446	13,567	7,515	27,625	1,250	30,625	2,250	12,749	173,027

의 연속성이 특히 중요한 반도체 산업의 특성에 잘 맞고, 3) 레이저의 규모가 작아서 시설비가 적게 들어가는 등 3가지 이유에서이다. 또 다른 활용 분야는 레이저가 소형 및 경량인 점을 활용해 range finder 등의 군사용이나 항공 우주용으로 사용하거나, 크기가 매우 소형인 단일모드 가시광 레이저(532 nm)나 UV 레이저(355 nm)를 이용해 미세 변형 등을 측정하는 각종 계측기나 홀로그래피 장치, 대학연구실에서의 고분해능 장치 실험 등에 이용한다거나, 이온 레이저를 대체해 여기용 레이저로 사용하는 것 등이다.

2. DPSS 레이저의 시장 규모 및 현황

2001년 1월 발간된 laser focus world에서 레이저 제작업체를 대상으로 DPSSL의 시장 현황을 조사한 결과가 표 1과 2에 나와 있다.

표를 보면, 가장 큰 시장은 역시 레이저 가공기 시장임을 알 수 있다. 가공기 분야는 레이저 절단, 용접, 열처리, 천공, 리소그래피, 반도체 검사, memory repair, 결함검사, 금속 플라스틱, 실리콘 마킹 등에서의 판매를 합친 것이다. 그림 1(a)를 보면, 2000년의 경우 가공기는 전체의 35%를 차지했으며, 의료용이 19%를 차지하여 이 둘을 합치면 절반이 넘고 있음을 알 수 있다. 특히 가공기용 레이저는 1999년 31%에서 2000년은 35%로 13% 정도 증가했음에 비해 의료용은 1999년에 비해 2000년에는 15%

정도 축소해 가공기 분야의 빠른 신장세를 볼 수 있다. 2001년의 레이저시장에서 예측되는 가공기 분야의 DPSS 레이저 수요는 더 증가하여 점유 비율이 37%를 점할 것으로 예측되고 있다. 가공기 분야의 판매 금액은 2000년의 경우 5,900만 US\$에 달해 전체 판매액의 41%에 달하고 있다. 판매 대수에 비해 금액의 비가 큰 것은 단위 레이저당 단가가 상대적으로 높음을 나타낸다. 신장세도 두드러져서 1999년에 비해 2000년은 1.6배나 판매액이 성장하고 2001년에도 1.3배의 매출 증대가 예측된다. 가공기 분야의 성장은 반도체 산업의 성장과 장비투자에 주로 기인한다. 이러한 분야에는 주로 평균출력 수십 W 이하의 저출력 레이저가 사용되고 있다. 전체 가공기 시장에서 설파등 여기 고체레이저가 차지하는 비중은 판매액을 기준으로 할 때, DPSSL의 6배나 된다. 판매액에 비해 설파등 여기 레이저의 판매대수는 DPSSL의 2.5배에 불과함을 볼 때, 설파등 여기 레이저는 수백 W 이상의 고출력 레이저 시장의 대부분을 장악하고 있음을 알 수 있다.

한편 2000년의 경우 가공용 레이저 판매액은 13억 2천만 US\$이었으며, 이 중에서 설파등 여기 레이저는 27%, CO₂ 레이저는 40%, 엑시머 레이저는 27%를 차지하고 있으며, DPSSL은 5%에 불과하다. 비록 현재는 5%에 불과하지만 DPSSL은 저출력 가공용 레이저의 대부분을 차지하고 있으며, 장래에는 대출력 설파등 여기 레이저가 차지하고 있는 시장의 상당부분을 차지하게 될 것으로 예상된다. 따라서 고출력 DPSSL 분야는 매우 빠른 성장이 예상된다. 특히 DPSSL을 제3고조파 및 제4고조파 변환시키면 엑시머 레이저가 차지하고 있는 UV 파장 분야의 가공용 레이저 수요도 상당 부분 차지하게 될 것이다. 최근 Coherent사와 Lightwave사에서 출시한 355 nm 파장의 고반복율 레이저는 시장을 신속히 확장하고 있다. 엑시머 레이저의

단점인 짧은 수명, 큰 부피, 가스 및 부품의 잦은 교체로 인한 높은 유지비 등을 DPSSL은 해결할 수 있으므로 매우 큰 매력이 있다 할 것이다. 현재는 UV 파장을 가진 DPSSL의 평균출력이 10W 수준에 머물고 있으나 100 W 이상의 고출력을 발생시킨다면 엑시머 레이저를 대체하게 될 것이다. Rofin-Sinar Technology Inc.에서는 4.2 kw에 이르는 높은 평균출력을 가지면서도 빔직경과 발산각의 곱이 12 mm · mrad에 불과한 레이저를 최근 출시했다. 자동차 산업 등의 대출력이 요구되는 산업용 용접 및 절단기 분야는 CO₂ 레이저가 상당 부분을 차지하고 있으나, DPSS 레이저는 효율도 CO₂ 레이저와 비슷한 데다 광섬유 전송이 가능하고 파장은 훨씬 짧아 가공 특성이 우수한 장점이 있으므로 대량 공급을 통해 가격이 내려가고 출력도 10 kw에 근접하게 되면 가공기 시장에 매우 큰 변화를 주리라 기대된다.

의료용 분야에서의 DPSSL의 부진은, DPSSL의 대부분을 차지하는 Nd:YAG 레이저의 이용이 정체돼 있기 때문이다. 의료 분야에는 다이오드 레이저가 2배 이상 성장하고 엑시머 레이저 (excimer laser)가 20% 이상 성장하고 있어 Nd:YAG의 입지가 부진한 편이다. 그러나 DPSSL에서 UV레이저를 발생시키면 엑시머 레이저 시장의 점유도 가능해지리라 본다.

매출증대에서 주목할 것은 연구용 레이저로서 점유율은 9%에 불과하나 판매액은 17%에 달해 판매 단가가 가장 높은 고부가가치 상품임을 나타낸다. 전반적으로 기초연구분야의 레이저 매출은 응용연구에 비해 축소되고 있는 추세여서 1998년은 1.13억 US\$에서 1999년은 0.99억 US\$, 2000년은 1.1억 US\$로 정체되고 있다. 이런 중에도 DPSSL은 1999년에 비해 2000년은 1.7배의 고성장을 기록하고 있으며, 2001년에도 1.14배의 성장이 예측되고 있다. 성장의 주된 이유는 이온 레이저가 차지하고 있던 분야를

DPSSL이 차지하게 됐기 때문이다. 아울러 Ti:Sapphire 펄초 레이저의 증폭기를 여기 시키기 위한 레이저의 매출도 증대되고 있다.

Entertainment 와 display 분야는 레이저쇼, 대형전시판, 레이저 포인터, 홀로그램 등을 이르며, 이 분야에서 성장은 기대에 훨씬 못 미치고 있는데, 이는 경기에 민감한 분야이기 때문이라 여겨진다. 그러나 녹색과 자외선 파장을 발진하는 소형 DPSSL의 응용이 장래에는 확대될 것으로 기대된다. DPSSL의 소형 및 경량화, 장수명, 안정성 등의 특징이 가장 잘 맞는 분야가 range finder 등의 군사용과 항공 우주산업에의 응용이다. 따라서 이 분야의 성장은 괄목할만하다. 표 1의 기타 분야는 전년대비 2배의 성장을 이뤘는데, 바로 군용 및 항공우주 분야에서의 급

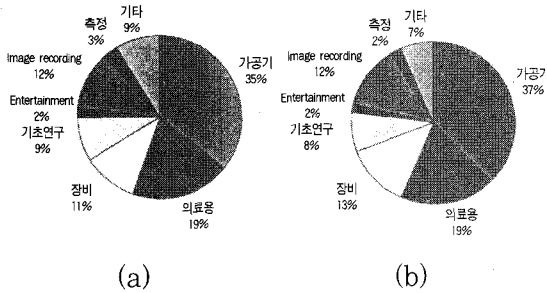
격한 신장에 기인한 것이다. Image recording 분야는 인쇄하고자 하는 판(plate)에 레이저빔을 입사해 thermal ablation 과정에서 상의 인쇄가 판에 직접 이뤄지도록 하는 것이다. 컴퓨터로 레이저를 제어하므로 컴퓨터-판의 직접적인 인쇄가 이뤄진다. 수년 전에 태동한 이 분야에서의 시장규모는 가장 빠른 속도로 성장해 1999년에 500만 US\$의 매출에서 2000년은 2,700만 US\$로 5배 이상 증가했다. DPSSL은 image recording 분야의 레이저 응용을 선도하고 있는 실정이며, 여기에는 녹색광 레이저가 주로 사용된다.

3. 국내의 업체 동향

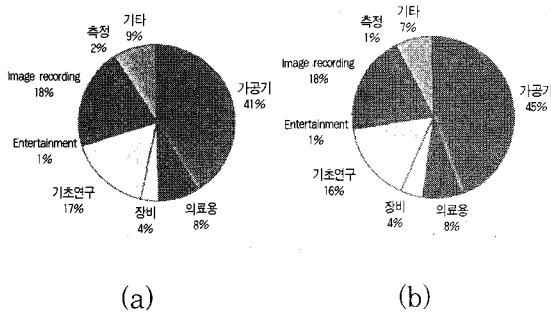
국외

가장 먼저 DPSSL의 상용화가 시작된 미국에서는 기업들의 활동도 가장 활발하다. DPSSL에 사용하는 다이오드 레이저는 펄스형과 연속발진형이 있다. 펄스형 다이오드를 사용하면 침투 출력이 크고 반복율이 수십~수백 Hz인 레이저가 발생하며, 연속발진 다이오드를 사용하면 연속발진 혹은 수십 kHz의 고반복율 레이저를 발생시킬 수 있다. 펄스형 다이오드를 사용해 고출력을 발생시키는 레이저의 경우 TRW사와 Fibertek 등에서 상용 제품을 개발하고 있다. 주로 군사용, 항공기 탑재용, 수중 통신용, LIDAR 용으로 사용된다. 미국에서는, 이미 1994년부터 TRW사를 중심으로 20개의 기업과 학계가 참여하는 PLM (Precision Laser Machining) 컨소시엄을 구성해 용접, 절단등 가공용으로 평균출력이 수 kw인 Nd:YAG 레이저를 개발한 바 있다. Fibertek에서는 펄스당 230 mJ을 발생시키는 녹색광 레이저 (532nm)를 수중통신 및 LIDAR용으로 판매하고 있다.

반도체나 금속의 표면 등에 marking을 하거나 stereo-lithography를 하기 위한 레이저는



▲ 그림 1 (a) 2000년의 DPSS 레이저 판매대수와 (b) 2001년의 DPSS 레이저 판매 예측



▲ 그림 2 (a) 2000년의 DPSS 레이저 판매액과 2001년의 DPSS 레이저 판매 예측액

1064 nm 파장을 가진 Nd:YAG 레이저와 532 nm 파장을 가진 녹색광 레이저가 주로 사용되며, 연속발진 다이오드를 사용하고 수십 kHz로 Q-switching 시킨다. 현재 가장 많은 제품 개발이 경쟁적으로 벌어지고 있는 분야이며, 펄스형 IR 레이저와 녹색광 레이저의 제품 현황을 표3에 수록했다. 산업용 고출력 레이저는 Cutting Edge Optronics, DPSS Lasers Inc., Lee Laser 등이, 연구용 연속발진 및 고반복율 DPSS 레이저는 Spectra-Physics, Coherent, Light Wave Electronics 등이 대표적인 판매업체이다. Cutting Edge Optronics 사는 최근 750 W의 출력을 가진 module을 개발했다.

독일에서도 정부와 산업체가 다이오드 레이저 및 DPSS 레이저 개발을 조기에 추진해 산학연 공동 연구 계획으로 'Laser 2000'이라는 반도체 여기 고체레이저 개발계획을 수행한 바 있다. 이미 1995년에 300 W의 출력을 얻었으며, 이어서 1997년에는 750 W의 CW 출력을 얻었다. Jenoptik에서는 다이오드 레이저와 평균출력 80W의 마킹용 DPSS 레이저를 생산하고 있다. Rofin-Sinar는 고출력 다이오드 레이저 생산업체인 DILAS를 인수해 DPSS Nd:YAG 레이저를 개발했다. 최근 다이오드에 의해 측면 여기되는 4개의 레이저 붐을 공진기 내에 직렬로 배치하는 구조를 사용해 레이저빔 파라메타값이 12 mm·mrad에 불과하면서도 출력이 4.4 kw에 달하는 레이저를 개발해 고출력 레이저 가공기 시장의 주도권을 유지하고 있다. 한편 Stugart 대학에서는 매우 우수한 특성을 가졌음에도 저온에서만 효율적인 동작이 가능했던 Yb:YAG 결정을 상온 근처에서도 효율적으로 발진시키는 여기 구조를 개발했다. 이 레이저는 얇은 원판 모양의 Yb:YAG 결정을 종횡평하는 구조를 사용해 열 문제를 해결했으며, 고출력에서도 광변환 효율이 50 % 정도로 탁월하고, TEM₀₀의 빔질이 출력에 변함 없이 유지되는 특성을 지녔다.

1개의 Yb:YAG 판을 사용해 레이저의 출력을 590 W로 상승시키고 4개의 판을 사용해 1 kw로 상승시키는 연구를 수행하고 있다. 이미 일부 모델은 상용 제품이 판매되고 있다 (www.nanolaser.com).

산업용 레이저 가공기를 매우 많이 사용하고 있는 일본은 정부 지원과 함께 도시바, 화낙 등의 대기업 주도로 Photon Project라고 하는 고출력 레이저 개발 계획을 수행하고 있다. 가공용 CO₂ 레이저를 대체하기 위해 2001년까지 전기-레이저 변환효율이 20 %이며 출력이 10 kw 급인 가공용 DPSS 레이저를 개발한다는 목표를 수립했다. 도시바에서는 레이저붕을, 화낙(FANUC)에서는 슬랩형 Nd:YAG 레이저를 사용해 모델을 개발하고 있다. 화낙에서는 반복율 625 Hz, 평균출력 9.5 kw인 QCW 다이오드 레이저를 사용해 3 kw의 평균 출력을 얻었다. 이 레이저는 6 x 25 x 206 mm³ 크기의 단일 슬랩 Nd:YAG 결정을 사용했다. 최근 도시바에서는 3개의 레이저 붐을 사용해 5.1 kw를 얻는데 성공했다. 한편 미쓰비시 전기에서도 난반사체형 여기장치와 얇은 유리판형 다이오드 전달계 사용 구조를 가진 레이저를 지난 수년간 꾸준히 개발·발전시켜 왔으며, 최근 1.1 kw 다이오드 레이저 출력에서 TEM₀₀ 모드 출력이 208 W에 도달하는 레이저를 개발했다.

프랑스의 Thomson CSF에서는 고출력 다이오드 레이저를 판매하고 있으며, 원자력연구소(CEA)에서는 Thomson CSF사의 다이오드를 사용해 평균출력 100 W 급의 청록색 DPSS 레이저를 1997년에 이미 개발했다. 또한 BMI는 Thomson CSF에 합병됐으며, 현재 평균 출력이 60 W를 넘는 고반복율 청록색 DPSS 레이저를 상용·개발해 1997년부터 시판하고 있다.

국내

다이오드 레이저는 LG산전에서 국산화된 적

이 있으나 중단된 상태이며, LG 산전에서는 레이저 마킹기 및 반도체 가공장비 개발을 목적으로 20 W급 DPSS 레이저, 광섬유결합 다이오드 (fiber coupled diode) 여기 CW 레이저 등을 개발했다.

당시의 개발을 수행한 연구원들이 창업한 (주)레이저엔피직스에서 관련된 레이저 사업을 계속하고 있다. 현재 20 W의 출력을 가진 광섬유결합 다이오드 레이저를 비롯해 35 W (최대 반복율-100kHz), 6 W 출력의 다양한 DPSS Nd:YAG 레이저를 판매하고 있다.

지난 10여 년 간 고출력 Nd:YAG 레이저와 DPSS 레이저 연구 개발을 수행했던 한국원자력연구소의 연구팀원이 창업한 (주)금광에서는 Lidar용 Green DPSS 레이저와 출력이 50 W, 70 W, 100 W인 마킹기용 Nd:YAG 레이저와 pump head 등 다양한 다이오드 여기 고체레이저를 판매하고 있다. 최근 (주)하나기술은 자체에서 판매하고 있는 레이저 가공기에 사용하기 위해 수백 W급 DPSS 레이저를 원자력연구소와 함께 개발하고 있다.

참고로, 국내에서는 최근 한국원자력연구소 (KAERI)에서 가공용 레이저 개발을 목표로 Nd:YAG 붓을 이용해 평균출력 600 W급 DPSS 레이저를 개발했다. 또한, 평균 출력 60 W 급의 TEM₀₀ 모드 레이저, 50 W 급의 녹색광 레이저를 개발한 바 있다.

4. DPSS 레이저의 향후 전망

Rofin-Sinar는 고출력 DPSS 가공기 시장이 기존의 레이저 가공기 시장을 빠른 속도로 교체하면서 주도할 것으로 예측하고, 이에 적절히 대응하기 위해 기존의 조직을 개편하는 조치를 단행했다.

현재까지 DPSS 레이저는 저출력 고체레이저 시장을 완전히 장악한 단계이며, 중·저 출력이

요구되는 레이저 마킹기 시장에서의 점유율을 매우 빠른 속도로 늘려가고 있다. 따라서 섬광등 여기 레이저가 차지하던 kw급의 대출력 시장 또한 DPSS 레이저가 빠르게 대체해 나갈 것으로 보인다.

주목할 점은 섬광등 여기 레이저의 시장이 DPSSL의 성장에도 불구하고 가공기 분야에서는 매년 10% 정도씩 성장해가고 있다는 점이며, 이는 레이저 가공 전체 시장이 성장하고 있다는 것을 보여준다. 따라서 DPSSL의 판매율은 더 빨리 증가할 것이다. 또한, DPSS 레이저는 기존의 역시며 레이저와 CO₂ 레이저가 차지하던 영역의 상당부분까지 잠식해 가는 방향으로 개발될 것으로 보인다.

이 같은 관점에서, 앞으로 DPSS 레이저의 제품 개발 방향은 1) 가공기용으로 수백 W에서 kw급의 고출력 레이저 개발, 2) 초정밀 가공용으로 출력이 수 W에서 수십 W 사이인 355 nm, 266 nm UV 레이저 개발, 3) 출력이 수십 mW 급의 단일 종모드 UV 레이저 등의 순서로 진행될 것으로 예상된다.

아직은 실험실에서의 검증 단계이지만, 주목할 분야는 DPSSL로 증폭시킨 Ti:Sapphire 초단펄스 레이저의 가공분야 응용이 점차 증대되고 있다는 점이다. 열의 발생 없이 원자층이 제거되는 장점으로 인해 가격의 인하와 시스템의 안정성이 확보되면 반도체 산업이나 MEMS 등의 고정밀 가공 분야로의 진출이 활발해질 것으로 기대된다.

표 3. 가공기용 고출력, 고반복율 펄스 DPSSL 상품 현황표

회사와 모델	pulse repetition rate	pulse width	M ²	power	Homepage
Coherent Corona Avia	5-30 kHz 0-100 kHz	100 ns 30 ns	mm 1.3	75 W(532 nm, 10 kHz) 4.5 W(355 nm, 25 kHz)	www.coherentinc.com
CEO CT 96-GR	1-5 kHz	20 ns (1 kHz) 30 ns (5 kHz)	20	50W (532 nm, 5 kHz)	www.ceo-laser.com
CEO	1 kHz	12-35 ns (1 kHz)	1.1	20 W (1064 nm, 1 kHz)	"
Crystal Laser	1-100 kHz	10-50 ns	1.1	500 mW (1064 nm)	www.crystalaser.com
DPSS Lasers	1-100 kHz	25 ns	1.2	1 W (355 nm)	www.dpss-lasers.com
JenOptik JOL-RB70	0.1-70 kHz	110 ns(1 kHz)	low mode	70 W(CW) 60 W(1064 nm, 10 kHz) 15 W(1064 nm, 1 kHz)	www.jenoptik-los.de
Positive Light Evolution-30	2.5-10 kHz	130 ns	mm	30 W (527 nm(Nd:YLF), 5 kHz)	www.poslight.com
Lambda Physik Gator-10-F10	10 kHz	15±3 ns	1.1	10 W(1064 nm) 5W (532 nm) 3W (355 nm)	ww.lambdaphysik.com
Lightwave electronics 210-1064-6000 210-532-2500	0-50 kHz 0-50 kHz	30,50,90 nsec 40,70, 120 nsec (at 1, 10, 20 kHz)	1.1	6 W (1064 nm, 1 kHz) 2.5 W (532 nm, 1 kHz)	www.lightwaveelect- ronics.com
LMT S-060S0	<50 kHz	10 ns (20 kHz)	1.5	6.5 W (1064 nm)	www.lasermarking.net
Lee Laser	20 kHz	150 ns	14	80 W (1064 nm) 50 W (532 nm)	www.leelasers.com
q-peaks MPS-532QS40	3-50 kHz	25 ns (3 kHz) 40 ns (10 kHz)	1.4	20 W (532 nm)	www.qpeak.com
Spectra Physics FCbarS240-TN50-1 06Q, R-series	several kHz	4.5-50 ns	1.1	0.18-35 W(1064 nm) 0.02-6 W (532 nm) 0-3.5 W (355 nm)	www.spectra-physics.com

*)mm: multi-mode