

高出力 글라스 레이저와 그 應用

High Power Glass Lasers and Their Applications

金 炳 泰

Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.

고체레이저는 무엇보다도 活性원자 밀도가 높아 비교적 용이하게 高輝度の 출력을 얻을 수 있다. 또 보수가 간단하고, 長期的으로도 신뢰성이 높으며, 장치가 비교적 콤팩트하다. 그래서 고체레이저는 高輝度を 필요로 하는 레이저 核融合, X線 리소그래피, X線 레이저 등의 理化學 연구분야를 비롯하여, 전자부품의 미세가공, 용접, 절단등의 가공분야 및 계속, 의료분야 등에 폭 넓게 사용된다.

고체레이저가 高出力化를 지향하는데 있어서, 레이저光에의해 매질에 損傷이 야기되어 단위면적당 출력 밀도를 損傷 문턱치보다 낮게할 필요가 있다. 고출력을 얻기위해서는 레이저매질을 大型化시켜야 한다. YAG, Ruby 등의 결정체는 이점에서 大出力化 경쟁에서 밀려 大型化가 용이한 글라스 레이저가 高出力 레이저의 주축을 이루게 되었다. Nd:Glass의 특징은 레이저 결정체에 비해 光學的 均質性이 높은 大體의 레이저매질을 비교적 廉價에 만들 수 있으며, 스펙트럼 폭이 넓기때문

에 많은 에너지를 反轉分布토하여 레이저매질에 축적시킬 수 있다는 것이다. 또 커다란 誘導放出斷面積, 낮은 非線形 光學定數, 작은 光路差 溫度係數를 갖는 磷酸 글라스가 개발되었고, 熱적, 기계적 특성이 우수한 Athermal 글라스도 개발되었다. 이때문에 Nd:Glass 레이저는 펄스동작의 高出力 高에너지 시스템에 아주 적당하고, 非線形 光學 結晶體(KDP, KD*P, BBO, KTP 등)를 이용하면 간단히 고출력 紫外 레이저光도 발생시킬 수 있다.

核融合 研究用 레이저로서 1970년대부터 급속히 高출력 글라스 레이저¹⁻³⁾가 건설되기 시작했다. 1970년초에는 10J, 1GW級의 글라스 레이저였지만 현재에는 10⁴⁻⁵배의 100kJ, 100TW級의 글라스 레이저가 출현하게 되는등 눈부시게 기술개발이 되었다. 미국의 로렌스 리버모어 연구소(LLNL)에서는 1975년부터 Janus, Cyclops, Argus, 10kJ級의 Shiva(20 beams), Novette(2 beams)가 건설되었고, 현재 150kJ級의 Nova 시스템(10

beams)이 가동중이다. 日本의 大阪대학 레이저 核融合 연구소(ILE)에서도 LLNL과 같이 1975년부터 激光(Gekko) II號, 세계 최초의 磷酸 글라스 레이저 시스템 激光IV號, 激光VI號가 건설되었고 1983년에는 30kJ級의 激光X II號(12 beams)가 완성되어 최대 57TW(100ps)가 달성되었다. 그외에 프랑스 리메일 연구소의 Phebus 시스템(2 beams), 미국 Rochester대학의 Omega 시스템(24 beams), 소련 레베데프 연구소의 Delfin 시스템(216 beams)등이 있으며, 이들 레이저 시스템은 현재도 가동중이다. 한편 각연구소에서는 적상된 MJ級, PW級의 글라스 레이저 시스템(LLNL의 Athena계획등)의 연구가 진행중이다.

일본 大阪대학의 ILE에서는 고출력 글라스 레이저 시스템의 増力 계획으로 $3\omega(0.35\mu\text{m}):100\text{kJ}$ 短파장 레이저 시스템 개발이 검토 진행중이다. 현재의 激光X II 호에 350mmΦ 디스크 증폭기를 증설시키는 것으로 次期 시스템은 설계되어 있다. 증설될 350mmΦ 디스크 증폭기는 小信號利得 1.7배를 설계 기대치로 했다. 레이저 글라스는 694x380x45mm(LHG-8, Nd 2wt%)의것 2장을 사용하고 있다. 勵起 입력에너지는 410kJ이다. 플라쉬 램프는 現시스템(100mmΦ, 200mmΦ)에서 사용하고 있는 內徑 15mmΦx1270mm의것을 30개 사용한다. 플라쉬 램프 배치는 램프에 가해지는 電磁力을 감소 시키기위해 奇數 램프 배치를 채용하였고, 더미 램프 배치를 최적화 시켰다. 플라쉬 램프의 반사경은 램프의 재흡수 현상을 포함한 광선추적 코드로 설계하였으며, 코너형을 채택

했다. 냉각은 N₂ 가스를 뿜는 분사방식이 채택되었다. 그림 1. 은 350mmΦ 디스크 증폭기의 구조이다. 이같은 제원의 디스크 증폭기의 실험 결과로 그림 2. 에 전기 입력에너지에대한 소신호이득을 나타내었다. 소신호이득은 전기 입력에너지 335kJ에서 1.72배가 얻어졌다.

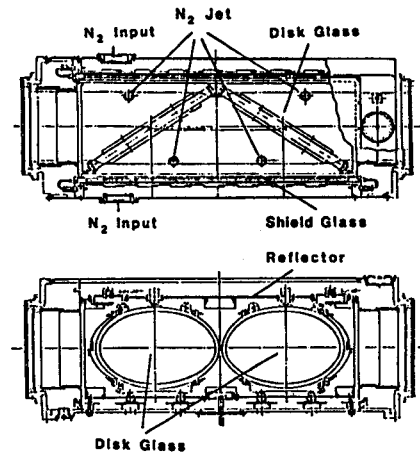


그림 1. 350mmΦ 디스크 증폭기의 구조.

이득계수에대한 勵起 효율(레이저 축적에너지 / 전기 입력에너지)을 DA100, DA200과 비교하여 그림 3. 에 나타내었다. 여기효율은 激光X II 호 시스템의 100mmΦ, 200mmΦ 디스크 증폭기와 비교하여도 350mmΦ의 大口徑化에 의한 감소는 없었고, 오히려 동작영역에서 효율이 2배정도 개선되었다.

集光性이 높은($> 10^{13}\text{W/cm}^2$) 高平均 出力 레이저는 플라즈마 응용이나 高品質 X線源으로 이용하는데 기대되는바 크다. 이미 각종형태의 slab 레이저가 개발되

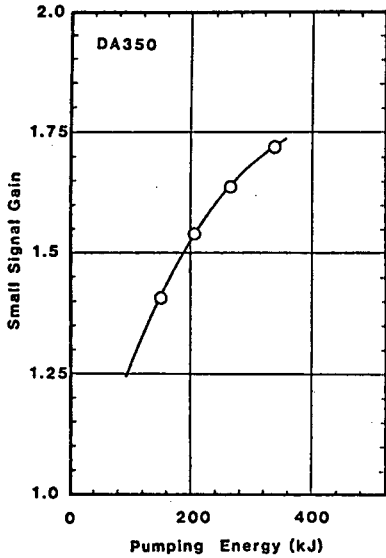


그림 2. 小信號利得 특성.

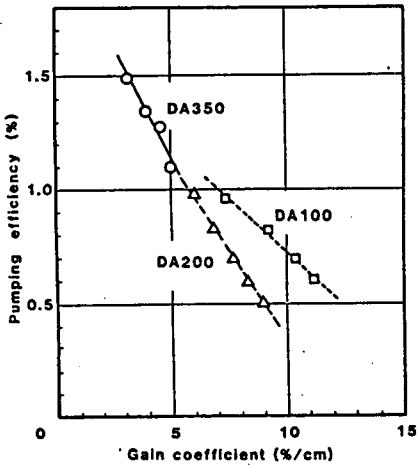


그림 3. 이득계수에 대한 여기효율.

어 결정체는 물론 글라스를 이용한 레이저의 高平均出力에 박차를 가하고있다. 일본 大阪대학의 ILE에서는 zigzag slab 글라스 레이저를 이용한 X線 리소그래피에 서 X線 리소그래피용 마스크 轉寫 실험을하여 최소 露光 간격 0.25 μ m를 얻었다.^{4,5)} 그림 4.에 X線 리소그 라피에 사용된 高平均 출력 글라스 레이저 시스템 구성 을 나타내었다. 미국 stanford대학의 R.L.Byer교수팀도 zigzag slab 글라스 레이저를 이용하여 X線 Microscopy 에 응용할 시스템에대한 연구발표를 했다. 레이저 核融合을 실현시키기위한 에너지 드라이버로서 split-disk (gas cooled disk)^{6,7)}형태의 高平均出力 레이저에대 한 연구도 활발히 진행되고 있다. 한편 集光 강도 $\geq 10^{18}$ W/cm²를 목표로한 超短펄스 高平均出力 글라스 레 이저 장치의 개발⁸⁾로 응용범위를 넓혀 物理현상의 실험까지도 계획되어 진행되고 있는 실정이다.

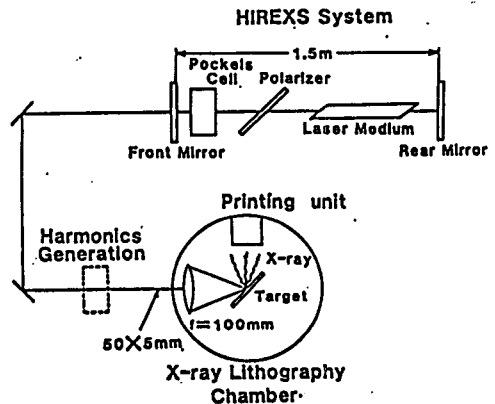


그림 4. X線 리소그래피용 고평균 출력 글라스 레이저 시스템의 구성.

이상과 같이 각종 長點을 지닌 高出力 글라스 레이저와 그것의 高尖頭 高平均 出力化와 短波長化로 글라스 레이저의 應用분야는 한층더 넓혀질것이 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Laser Program Annual Report 86, Lawrence Livermore Nat. Lab. UCRL-50021-86(1987).
- 2) J.L.Emmett, W.F.Krupke, and J.I.Davis, IEEE J. Quantum Electron. QE-20, 591(1984).
- 3) C.Yamanaka, Y.Kato, Y.Izawa, K.Yoshida, T.Yamanaka, T.Sasaki, M.Nakatsuka, T.Mochizuki, J.Kuroda, and S.Nakai, IEEE J. Quantum Electron. QE-17, 1639(1981).
- 4) B.T.Kim, Y.Oishibashi, T.Kanabe, M.nakatsuka, S.Nakai, IEEE Photo. Tech. Lett. 2, 27(1990).
- 5) G.M.Zeng, MS Thesis, Osaka Univ., Japan, 1990.
- 6) B.T.Kim, M.Nakatsuka, T.Kanabe, and S.Nakai, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L1233(1989).
- 7) G.F.Albrecht, J.Z.Holtz, S.B.Sutton, and W.F. Krupke, SPIE Vol. 1040, 56(1989).
- 8) T.Togawa, H.Daido, G.M.Zeng, S.Kanehiro, B.T.Kim, T.Kanabe, M.Nakatsuka, S.Nakai, The 37th spring Meeting of the Japan Soc. of Appl. Phys. and Related Societies, Tokai Univ., May 28-31, 1990.