

# CLEO '89 에 참가하여

김 병 태

(일본 오사카대학 레이저 핵융합연구센터 박사과정)

CLEO'89(Conference on Lasers and Electro-Optics)가 미국의 동부도시 Baltimore의 convention Center에서 지난 4월24일부터 28일까지 개최되었다. CLEO는 매년 개최되는 레이저 및 광학관계의 국제학회로서 금년에는 QELS(Conference on Quantum Electronics and Laser Science)의 참가자를 포함하여 약 5,000명 정도가 세계 각국으로부터 참가한 것으로 보여진다. 그중 한국인의 참가도 눈에 두드러지게 나타나 이번에는 Stanford대학의 김 병운 박사의 초청강연을 비롯해 필자를 포함한 다수의 한국인이 강연 및 포스터에서 자신의 연구결과에 대해서 발표하였다. 그러나 유감스럽게도 본국으로부터의 발표자가 한명도 없어 약간 서운한 마음 금할길 없었다. 다음회부터는 참가되기를 바란다.

최근 레이저 기술과 그의 광범위한 응용분야는 눈부시게 발전하고 있다. 정보, 재료, 프로세스 기술, 계측, 에너지 분야를 비롯하여 의용(醫用)에 이르기까지 최첨단 과학기술의 모든 분야에서 레이저 응용 기술은 실용단계에서 활용되고 있다. 이러한 상황에서 레이저 기술 그 자체의 특성과 신뢰성의 향상과 더불어 새로운 레이저 재료, 광학재료의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이같은 레이저 관련의 커다란 국제회의의 전분야를 소개하기 위하여 현재 주목받고 있는 과제, 응용분야의 동향을 한눈에 볼수있게 회의의 Subject Index를 소개하고, 이번에 발표된 고체 레이저에 대해서 간단히 소개한다.

## <1989 CLEO SUBJECT INDEX>

- (1) Gas and Free Electron Lasers
- (2) Solid-State and Liquid Lasers

- (3) Semiconductor Diode Lasers
- (4) Nonlinear Optics, Phase Conjugation, and Spectroscopy
- (5) Optical Materials and Components
- (6) Lasers for Fusion and Strong-Field Physics
- (7) Ultrafast Optics and Electronics
- (8) Atmospheric, Space, and Ocean Optics
- (9) Optical Switching, Bistability, and Storage Devices
- (10) Imaging and Infrared Technology
- (11) Electro-Optical Instruments and Devices
- (12) Industrial Applications
- (13) Medical and Biological Applications
- (14) Lasers in Electronic Processing
- (15) Lightwave Communications
- (16) Miscellaneous

고체 레이저는 최근들어 급속히 발전하여 이화학 분야의 연구용은 물론 각종산업, 의료분야 및 핵융합용에 이르기까지 실로 광범위하게 사용되어지고 있다. 이번 CLEO'89에서도 다방면에 걸쳐 고체 레이저의 재료, 시스템 및 응용에 대한 발표가 있었다. 고체 레이저 분야에서 발표된 특징있는 내용을 몇가지만 간추려본다.

고체 레이저의 신재료 및 관련재료에 있어서는 파장  $2.73\mu\text{m}$ 의 발진이 가능한 신결정체(Nd, Er):YALO<sub>3</sub>에 대한 보고와 반복동작율을 높이기 위한 신재료 Cr:Nd:YSAG가 개발되어 17Hz까지 출력증가를 보였다. 근적외선용으로 개발된 Cr:Mg<sub>2</sub>

SiO<sub>4</sub>(Cr : forsterite)에서는 21%의 slope효율을 얻었다. 글라스 성질의 신결정체(Nd : La)P<sub>5</sub>O<sub>14</sub>에 대한 개발보고도 특이했다. 또 파장변환용 결정체 KDP에 대한 보고에서는 일본 오사카대학 레이저 핵융합 연구센터에서 높이 1m의 KDP결정체 성장에 관한 발표가 있었다.

이번 고체 레이저 분야에서 한가지 특징으로 볼 수 있는 것은 파장가변 고체 레이저 Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Ti : Sapphire)의 응용에 대한 발표이다. Ti : Sapphire는 660nm에서 1178nm까지 파장변환이 가능한 고체 레이저 매질이다. Ti : Sapphire를 이용한 레이저의 발표가 파장가변 고체 레이저의 거의 전부를 차지했다고 봐도 과언이 아닐 정도였다. MIT의 Lincoln

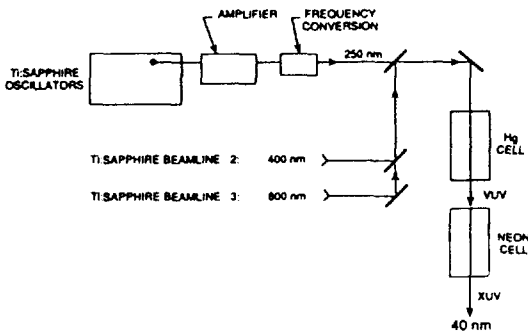


그림1. Ti : sapphire 레이저를 이용한 VUV광과 XUV광의 실험도

Lab.에서는 多段 Ti : Sapphire 증폭시스템에서 1J/pulse, 10Hz의 데이터를 얻었다. 특히 흥미 있다고 보여진 것은 Spectra Technology에서 발표한 Ti : Sapphire 레이저를 이용해 VUV光과 XUV光을 발생시킨 것이다. 그림 1에 VUV光과 XUV光을 얻어 낸 실험도를 소개한다. 여기에서 그들은 Ti : Sapphire레이저 기본파를 3배 고조파 변환(3W)시킨 255nm光, 2배 고조파 변환(2W)시킨 405nm光, 그리고 810nm의 기본파를 혼합시켜 Hg cell에 의해 130.7nm의 VUV光을 얻었고, Neon Cell을 이용하여 43.6nm의 XUV光을 발생시켰다. 이 방법은 Ti : Sapphire 레이저 이외의 것을 이용해도 가능한 것으로 되어 있다.

고체 레이저의 펌핑소스로서 플라쉬램프를 대신해서 다이오드 레이저가 각광을 받고 있다. 그에 맞추어 반도체 레이저도 장족의 발전을 거듭해 현재 일본의 sony에서는 단일 칩에서 1W를, 미국의 Spectra-Diode에서는 5W의 출력을 낼 수 있는 반도체 레이저가 개발되었다. 이번의 LD펌핑 고체 레이저에 대한 발표에서는 반도체 레이저의 기본적인 사용차원을 넘어서 여러 형태의 캐비티가 설계되어 LD펌핑의 무한한 가능성을 보여주었다. 그림 2에 Spectra-Diode Lab.에서 발표한 Diode-bar 펌프 고체 레이저를 소개한다. 여기서 그들은 10.9W의 입력에서 3.8W의 레이저 출력을 얻었고, 44%의 slope효율을 얻었다. 일본의 NEC에서는 1W급의 다이오드 레이저 20개를 사용하여 14W의 입력에서 멀티모드 4.9W의 출력을 얻어 39.4%의 slope효율을 얻었다. 한편 같은 장치에서 11W의 입력에서 싱글모드 3.5W의 출력을 얻기도 했다.

현재 우리나라에서도 대출력 글라스 레이저에 대하여 대단한 관심을 보이고, 그에 대한 개발 프로젝트

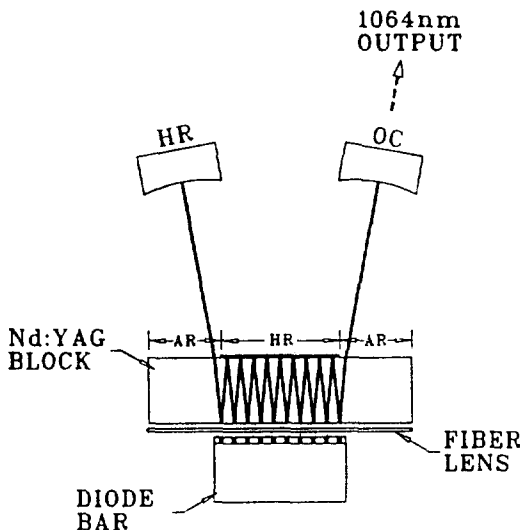


그림2. Diode-bar 펌프 고체 레이저

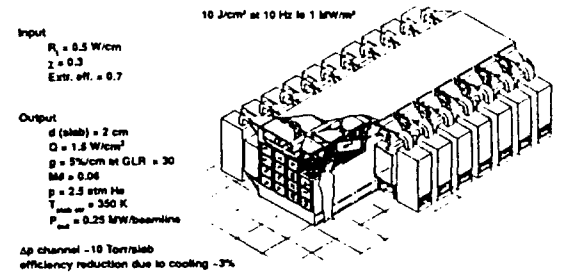


그림3. 평균출력 4MW급의 고체 레이저 개략도

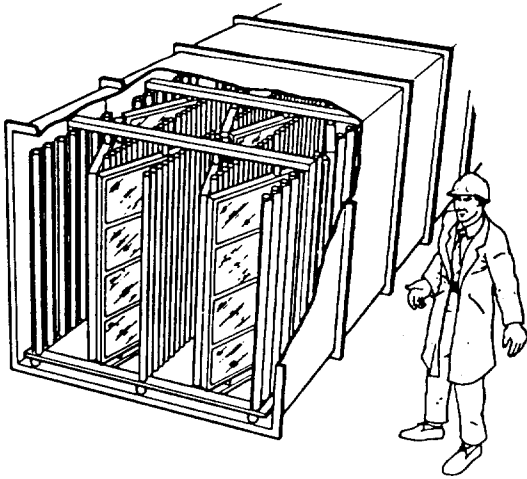


그림4. 多面 디스크 증폭기 개략도

트가 활발히 진행되고 있기에 글라스 레이저에 대하여 간단히 적는다. 현재 대출력 글라스 레이저로는 미국 로렌스 리버모어 국립 연구소(LLNL)의 NOVA시스템(100KJ), 일본 오사카 대학 레이저 핵융합연구센터(ILE)의 GEKKO XII 시스템(30KJ), 프랑스 리메일 연구소의 Phebus 시스템(20KJ)과 미국 로체스터 대학의 Omega시스템(5KJ) 등이 세계를 대표하는 핵융합용 글라스 레이저 시스템이다.

이들은 또 이 시스템을 ~MJ급까지 증강시키는 계획을 진행하고 있다. 그것에 관한 내용이 이번 학회에 잠깐 선을 보였다. LLNL와 미시간 대학의 공동 발표인 Petawatt( $10^{15}W$ )급의 레이저 시스템 계획은 Sub-Pico 펄스 발전기와 large-scale, damage resis-

tant compression grating을 이용하고, 한 라인에서 10TW( $1TW=10^{12}W$ )의 출력을 낼 수 있는 시스템 개발로 되어 있다. 또 LLNL에서는  $30 \times 30cm^2$ 의 구경에 16개의 비임 라인을 갖는 평균출력 4MW급 시스템에 대한 계획 발표와 MSA(Multisegment Amplifier)에 대한 보고가 있었다. 그림 3, 그림 4에 그 시스템들의 개략도를 소개한다.

한편 오사카대학 ILE에서는 필자에 의해 비임 직경 350mm( $65 \times 38cm^2$ 글라스 사용)의 Split-Disk 증폭기의 1Hz 동작 가능성에 대한 발표도 있었다. 현재 글라스 레이저는 핵융합용이 주목적이 되어 개발되어지고 있는데 이를 산업분야에 응용하기 위한 X-ray 리소그라피의 실험이 오사카 대학 ILE의 필자가 소속된 팀과 스텐포드대학 등에서 진행되고 있다.

스텐포드 대학에서는 Zig-Zag 슬랩 레이저를 이용한 X-ray 리소그라피의 발표가 있었다. Q-sw시킨 10J/pulse(펄스폭 40ns), 10Hz의 레이저를 초점거리 20cm의 렌즈로 금속수체  $140 \times 70\mu m^2$ 에 집속시켜  $6 \sim 10 \text{ \AA}$ 의 X-ray를 얻었다. 이와같은 연구결과에 의해 글라스 레이저가 핵융합연구 이외에 산업응용에서도 크게 기여할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 이외에도 각종 레이저 및 광학에 대한 새로운 아이디어, 새로운 응용등이 무수히 발표되었으나 여기에서는 그것의 극히 일부만을 소개하였다.

끝으로, 1990년도 CLEO는 5월21일부터 25일까지 Anaheim Convention Center에서 개최될 예정이고, 북미지역 원고마감은 1989년 12월 8일로 되어 있다.