

2테라 와트($2 \times 10^{12}W$)급 고출력 Nd:glass 레이저

한국과학기술원 레이저과학연구센터에서는 지난 5월 27일 한국과학기술원 자연과학동 공동강의실에서 '2테라와트($2 \times 10^{12}W$)급 고출력 Nd:glass 레이저' 발진 성공기념식을 가졌다.

2테라와트급 고출력 Nd:glass 레이저는 '88년부터 지난 5월까지 총 6년간 개발한 것으로 연구책임자는 한국과학기술원 이상수, 공홍진 교수이다.

본보에서는 한국과학기술원이 지난 5월에 발표한 '2테라와트급 고출력 Nd:glass레이저'에 관한 자료를 전제하니 관련독자들의 많은 참고바란다.

-편집자 주-

1. 연구경과

1.1. 개발년도

1988년 6월 - 1994년 5월
(총 6개년도)

1.2. 연구책임자 : 이상수 교수,
공홍진 교수

참여 교수 : 홍경희(육사),
이민희(인하대), 이인원(표준
연), 김병윤(KAIST), 김선호
(KIST), 김윤명(단국대), 남
창희(KAIST), 김병태(청주대)

참여연구원 : 안승준, 전영
민, 지경구, 한기관, 김남성,
김현수, 엄기영, 박종락, 이재
용, 최일우, 이홍섭, 이병훈,
도상희, 장도일(KAIST)

1.3. 연구비(단위 : 1,000원)

1.4. 연도별 주요 연구내용

1.4.1 1988 - 1989년

- (1) Nd:glass 증폭기 설계
- 레이저글라스와 증폭단별
에너지분포 결정
- 증폭기펌핑용 플래시램프
의 특성결정
- 막대증폭기와 디스크증폭
기 설계

(2) 공간주파수여과기, 빔확
대기 및 광고립기 설계

(3) 막대 및 디스크증폭기
제조용 광학장비 설계 및 제작

1.4.2. 1989년 - 1990년

- (1) Nd:glass 증폭기 개발:
설계 및 이득특성 조사
- (2) 공간주파수여과기, 빔확

대기 및 광고립기 설계와 제작
(3) PFN 제작과 F/R스위
치 제작

(4) TW 레이저 시스템용타
이밍 제어회로 제작

1.4.3. 1990 - 1991년

(1) 주공진기와 단일 펄스
선택장치 개발

(2) 1,2단 Nd:glass 증폭
기, 전원 공급장치 제작과 증
폭특성 조사

(3) Faraday 광고립기 제작
과 특성조사

(4) Pockels Cell 특성 조
사와 전자광학장치 연구

(5) SF, VSF 제작과 특성
조사

1988년	1989년	1990년	1991년	1992년	1993년	총연구비
200,000	180,000	159,000	70,000	60,000	60,000	729,000

*순수하게 본 프로젝트에 사용된 금액임(위탁연구비 제외).

(6) TW 레이저용 펄스지연 회로, 컴퓨터 제어회로 제작과 특성조사

(7) TW 레이저용 냉각시스템 제작과 특성조사

1.4.4. 1991-1992년

(1) 3,4,5단 Nd:glass 증폭기 설계와 제작: Reflector, 전원 공급장치, 냉각시스템, VSF

(2) 3,4,5단 Nd:glass 증폭기 특성조사

-방전전류와 형광, 증폭시 레이저 막대온도 분포측정과 증폭실험

(3) Picosecond optoelectronics

(4) 레이저플라즈마 상호작용과 X선 발생이론 연구

1.4.5. 1992-1993년

(1) 3,4,5단 Nd:glass 증폭기 제작 및 성능향상

-ASE 측정과 억제, 소신호 이득 측정

-컴퓨터 인터페이스

(2) 멀티패스증폭기 설계, 분석과 제작

(3) 타겟챔버와 진공장치 제작 및 설치

(4) 레이저플라즈마와 X선 실험장치 세팅

1.4.6. 1993-1994년(일부는 진행중)

(1) 5단계 Nd:glass 막대증폭기 시스템 성능평가 및 향상

(2) 4경로 증폭기 제작 및 특성조사

(3) C, Al, Cu표적을 이용한 레이저플라즈마 및 X선발

생 실험

2. 레이저 시스템 소개

2.1.레이저시스템 개략도와 사진(그림 1,2 참조)

2.2.레이저 시스템의 개요

1960년에 Townes와 Maiman 등이 20세기 최대 발명중의 하나라고 일컬어지는 레이저의 원리규명과 동작에 성공한 이후, 많은 종류의 레이저 개발이 계속되어 왔다. 또한 많은 분야에 응용할수 있기 때문에 세계적으로도 고출력 레이저의 개발에 많은 연구를 해 오고 있음, 특히 테라와트(10^{12} W)급 이상의 고출력 레이저는 미래의 인류꿈의 에너지인 핵융합 에너지개발 연구를 위해

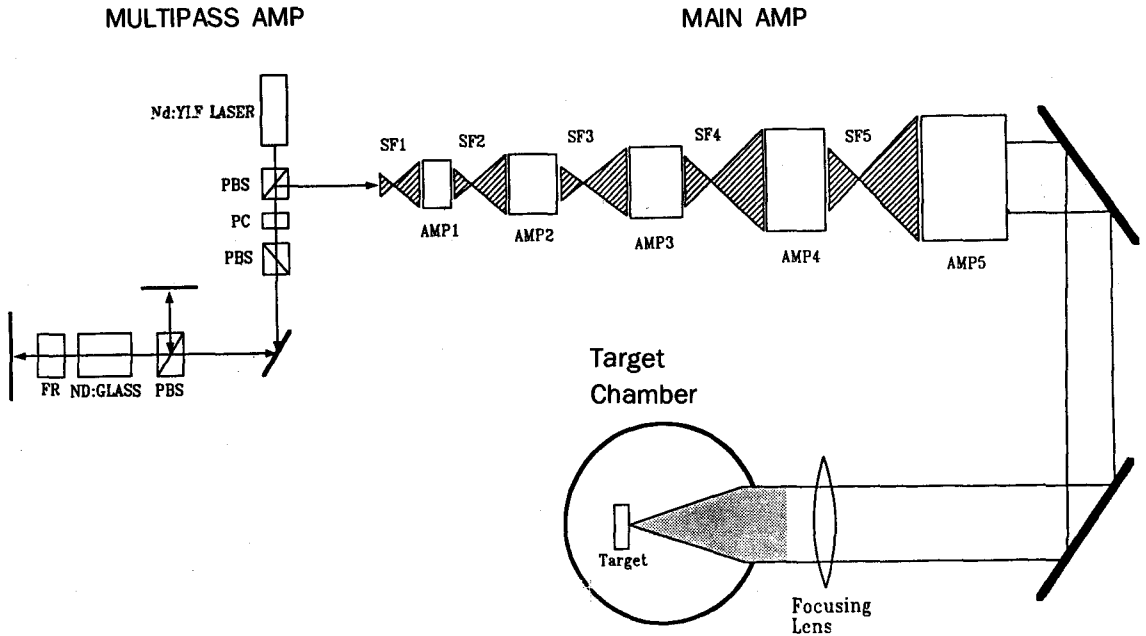


그림 1. 고출력 레이저 시스템 개략도

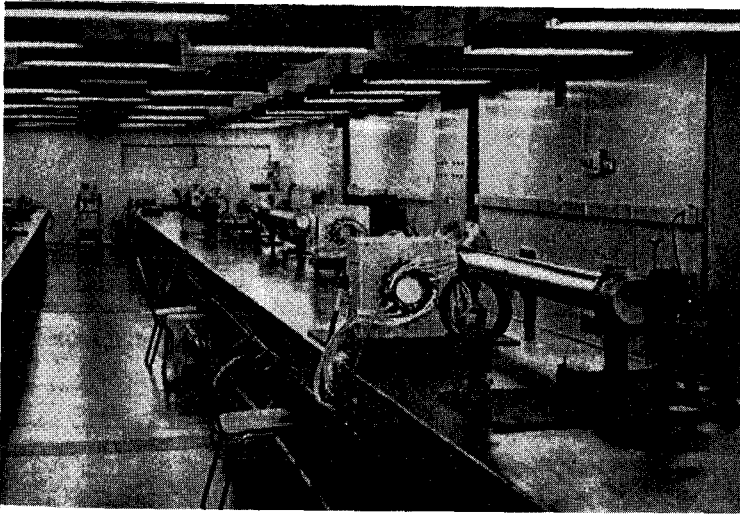


그림 2. 고출력 레이저 시스템 사진

미국, 러시아, 일본 등 선진국에서 활발히 연구중에 있다.

우리나라에서도 한국과학기술원의 이상수 교수와 공홍진 교수를 중심으로 1988년부터 6년간 국가주도의 테라와트급 Nd:Glass 레이저개발을 수행하여 이번 1994년 5월에 2TW (80j, 40ps)의 출력을 얻어내는 데 성공했다. 이는 당초 계획인 1TW보다 2배인 출력을

얻은 것이며, 7단계 증폭기를 5단계로 줄여서 얻어낸 획기적인 연구결과이다. 앞으로 2단계 디스크형 증폭기를 추가할 경우 최소한 10TW급 출력을 낼 수 있을 것으로 기대된다.

고출력 레이저시스템의 구성은 주발진기와 재생증폭기 및 5단계 주증폭기시스템으로 이루어져 있으며, 전체 길이는 약 40m, 최종출력단의 레이저

빔의 직경은 90mm이다. 주발진기로는 Nd:YLF(1053nm) 레이저를 사용하여 8mm 직경의 4-pass 재생증폭기, 각각의 주증폭기는 길이가 360mm이고, 직경이 각각 16mm, 30mm, 40mm, 64mm, 그리고 90mm인 Nd:glass rod(파장 1054nm)를 사용하였다.

본 고출력 레이저시스템의 완성에 따라서 고출력 레이저의 설계 및 제작기술이 완전 국산화 되었다는데 큰 의의가 있다. 또한 2TW급 레이저의 발진성공에 따라 레이저플라즈마 및 X선 발생연구, 1GD-RAM급의 초고밀도 반도체 개발용 X선 리소그래피 기술 개발, 미세한 생체세포 관찰용 X선 현미경 연구, X선 레이저 연구, X선 홀로그램 연구, 다광자 분광실험 및 기초적인 핵융합실험등 고출력 레이저 응용분야를 두루 연구할 수 있게 되었다.

2.2.레이저 증폭단별사양

Title		Amp1	Amp2	Amp3	Amp4	Amp5
Manufacturer		Schott	Schott	Schott	Schott	Hoya
Glass Type		LG750	LG760	LG750	LG760	LHG-8
Size	Diameter	16 mm	30 mm	40 mm	64 mm	90 mm
	Length	360 mm	360 mm	360 mm	360 mm	360 mm
Nd ³⁺ -ion Concentration (10 ²⁰ ions/cm ³)		1.49	0.94	0.62	0.37	0.42
Doping % of Nd ³⁺ -ions		1.50	1.00	0.60	0.40	0.40
Index of Refraction (at 587.56 nm)		1.52964	1.51935	1.52948	1.51958	-

Title	Amp1	Amp2	Amp3	Amp4	Amp5
Face Angle	6.0 Deg	6.0 Deg	6.0 Deg	6.0 Deg	6.0 Deg
Host Material(Glass)	Phosphate	Phosphate	Phosphate	Phosphate	Phosphate
Fluor. Lifetime(μ sec)	405	411	428	400	408
Stored Inversion Energy at Pumping voltage of 4.8kV	38.0 J	91.4 J	118 J	153 J	214 J
Cross-section area of rod	2.01 cm ²	7.07 cm ²	12.6 cm ²	32.2 cm ²	63.6 cm ²
Rod Volume	60 cm ³	212 cm ³	376 cm ³	848 cm ³	1908 cm ³
Stimulated emission cross-section (10^{-20} cm ²)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Stored Inversion Energy Density (J/cm ³)	0.633	0.431	0.314	0.180	0.112
$\alpha \cdot L$	4.24	2.89	2.10	1.19	0.74
Small signal gain($\exp(\alpha \cdot L)$)	69.5	18.0	8.20	3.30	2.10
Gain coefficient, α (cm ⁻¹)	0.141	0.096	0.070	0.040	0.025

2.3레이저 증폭단별 증폭율

Total pumping energy	Small-signal gain		Total pumping energy	Small-signal gain		
	Amp. 1	Amp. 2		Amp. 3	Amp. 4	Amp. 5
1.80 kJ	4.67 \pm 0.32	2.27 \pm 0.47	5.40 kJ	2.10 \pm 0.09	1.65 \pm 0.10	1.28 \pm 0.08
2.45 kJ	8.53 \pm 0.44	3.25 \pm 0.73	7.35 kJ	3.16 \pm 0.19	2.07 \pm 0.07	1.38 \pm 0.06
3.20 kJ	16.6 \pm 1.6	6.20 \pm 0.60	9.60 kJ	3.88 \pm 0.40	2.43 \pm 0.05	1.61 \pm 0.02
4.05 kJ	29.5 \pm 3.5	10.1 \pm 1.2	12.15 kJ	5.39 \pm 0.50	2.64 \pm 0.25	1.85 \pm 0.03

2.4.고출력 레이저 응용연구용 고진공 챔버(그림3참조)

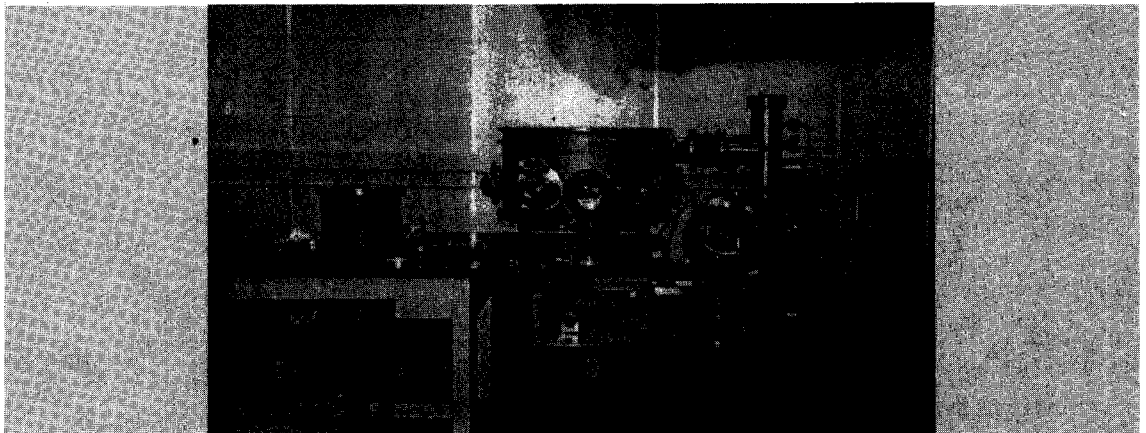


그림 3. 고출력 레이저 응용연구용 고진공 챔버 사진

2.5.레이저 증폭단별 spatial profile(그림 4,5,6,7,8,9 참조)

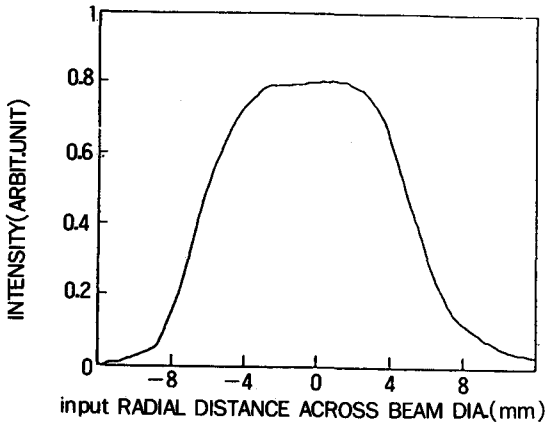


그림 4

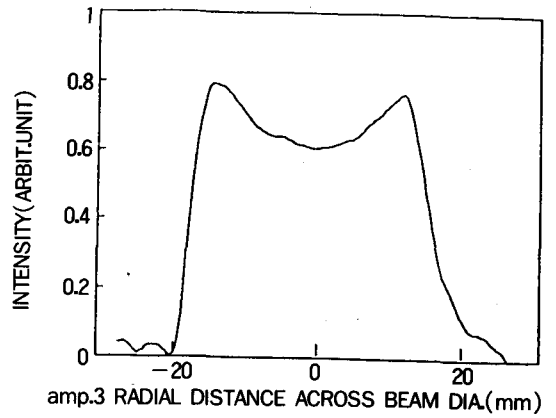


그림 7

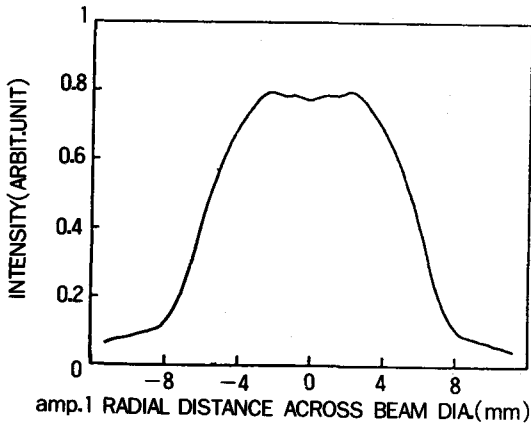


그림 5

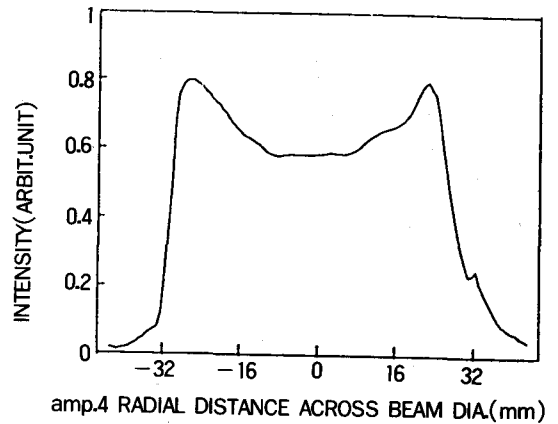


그림 8

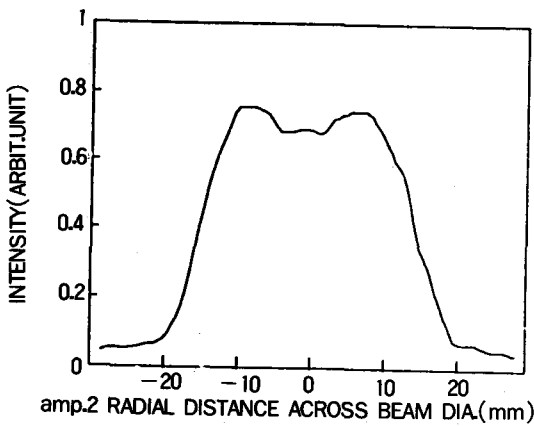


그림 6

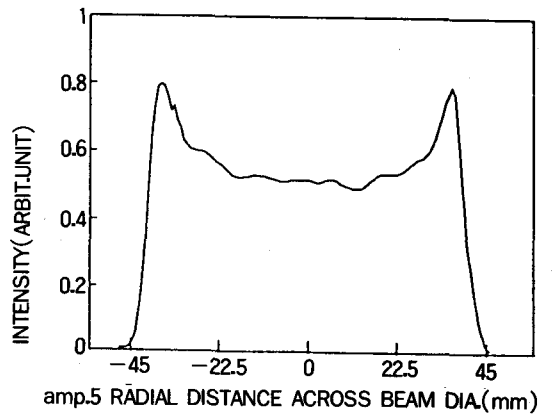


그림 9

증폭기 끝면에서 측정된 레이저빔세기의 공간적 분포

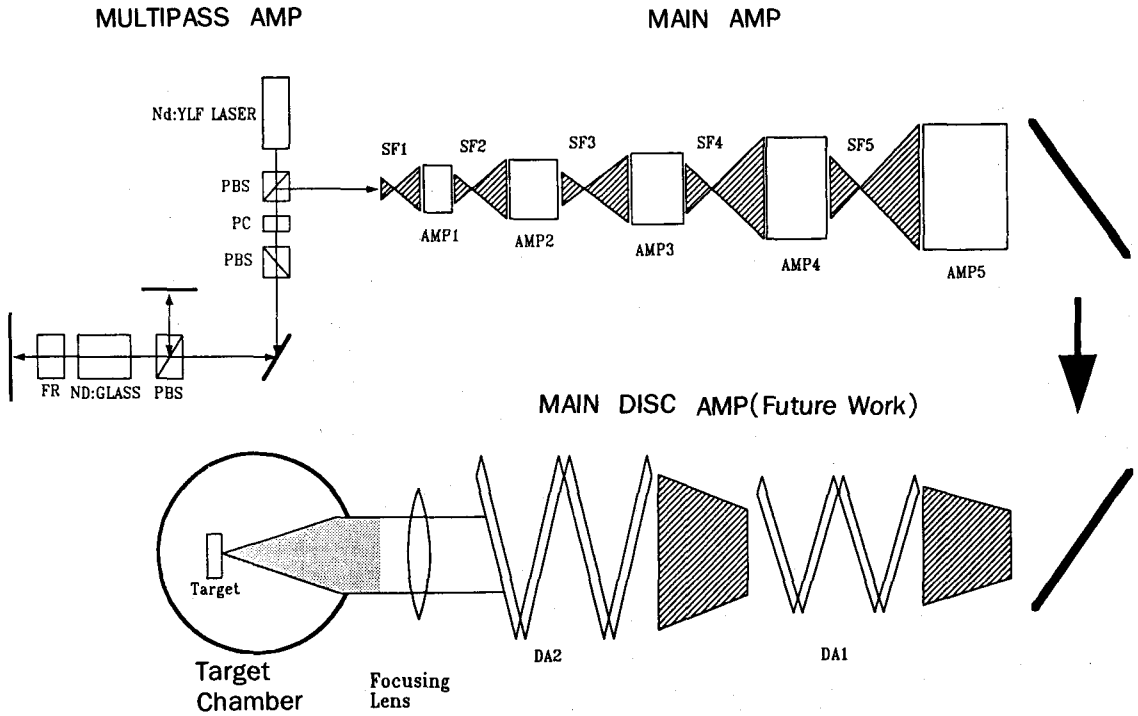


그림 10. 디스크증폭기를 포함한 고출력 레이저 시스템 개략도

3. 기대효과

- 고출력 레이저의 설계 및 제작기술 완전 국산화
- 고전압, 고출력 전원장치 기술확보
- 레이저 냉각기술 확보
- X선 리소그래피, X선 현미경, X선 레이저, X선 홀로그램 등의 응용을 위한 X선 발생용 고출력 레이저 확보

- 미래 인류의 꿈인 핵융합 기초연구를 위한 고출력 레이저 확보
- 다광자 상호작용연구의 기틀 마련

4. 향후 연구 계획

- 10TW급의 고출력 레이저 개발(과거치의 계속 지원이 필요함); 2단계 디스크 증폭기

설계 및 제작(그림10 참조)

- 레이저플라즈마 상호작용 및 핵융합 기초연구
- 1GDRAM급 반도체용 X선 리소그래피 및 X선 응용연구
- 비선형 분광학 연구
- Optical damage 연구
- 생명공학 및 의학에 응용 연구