

XeCl 레이저를 이용한 단일 단펄스 분포제한 색소레이저의 3단 증폭기 특성

김성훈

한국표준과학연구원 광학그룹

이영우

목원대학교 전자공학과

김용평

경희대학교 전자공학과

(1999년 5월 26일 받음, 1999년 10월 8일 수정본 받음)

본 연구는 XeCl 레이저를 펌핑원으로 사용하여 파장 616 nm, 펄스폭 106 ps의 분포제한 색소레이저(DFDL)의 발전과 증폭특성을 측정하였다. 소광장치를 구성하여 얻은 DFDL 단일펄스의 효과적인 증폭을 위해 3단 증폭기를 사용하였다. 증폭기I, II는 전치증폭단으로서 이득길이 5 mm, 10 mm의 색소셀에 농도 6×10^{-4} [mol/l](용매: Methanol)의 Rhodamine 610을 이득매질로 사용하였다. 증폭기I은 2%의 ASE 발생과 1 mJ 이상의 펌핑 에너지에서 10배의 포화증폭율을 가지며, 증폭기II는 2.5 mJ 이상의 펌핑 에너지에서 single-pass증폭을 통하여 28배의 포화증폭율과 함께 15%의 ASE 발생이 측정되었으며, 최적 증폭을 위해 회절격자를 이용한 ASE 제거와 double-pass 증폭을 수행하여 45배의 에너지 증폭율을 얻었다. 최종증폭단인 증폭기III은 상·하·좌·우의 위치에서 여기되는 Bethune 셀에 농도 3×10^{-4} [mol/l](용매: Ethanol)의 Rhodamine 610을 이득매질로 사용하였으며, single-pass증폭, double-pass증폭에서 각각 168.2 μ J과 471 μ J의 출력에너지를 얻었다.

I. 서 론

극초단 고출력 레이저의 발생은 물질의 초고속 현상 규명, 비선형 광학 등과 같이 기초과학 및 미래 산업기술에 미치는 영향으로 인하여 많은 연구개발이 진행되고 있다.^[1-4] 특히 자외선 파장영역에서는 고밀도 플라즈마에 의한 X선 레이저 발생, XUV 영역에서의 비선형 광학에 대한 관심으로 극초단 펄스 발생 및 고출력 레이저의 개발은 더욱 활발해지고 있다.^[5,6] 이러한 시스템의 구축은 주로 자외선 파장영역에서 고출력 특성을 갖는 극초단 엑시머 레이저 시스템의 개발로 이어지고 있다. 그러나 엑시머 레이저는 모드록킹 방식의 적용이 어렵고 자외선 파장영역에서 포화 흡수체가 없는 관계로 극초단 펄스 발생의 근본적인 어려움이 있으므로, 극초단 레이저 발전이 가능한 가시광 또는 적외선 파장영역의 색소 레이저, 고체 레이저로부터 극초단 펄스를 발전한 후 UV 파장으로 변환하여 얻은 seed 빔을 엑시머 증폭기에서 증폭하는 방법을 주로 사용한다.^[1,7,8] 독일의 Max-Planck 연구소에서는 극초단 펄스 발생부로 가시광 파장 영역의 분포제한 색소 레이저(DFDL: Distributed Feedback Dye Laser) 시스템을 도입하고 프리즘 등을 이용한 펄스 압축기술을 병용함으로써 KrF 레이저 시스템에서 Fourier 한계 펄스에 가까운 45 fs를 얻었다.^[9] 이 시스템은 색소레이저의 극초단 펄스화에 모드록킹 방식을 채용하지 않고 XeCl 레이저로 여기하는 단공진기 색소 레이저(SCDL: Short Cavity Dye Laser)와 소광공진기 색소

레이저(QCDL: Quenched Cavity Dye Laser)로부터 초단펄스(sub-ns)를 얻었으며, 이 초단펄스를 펌핑원으로 사용하여 극초단펄스(sub-ps)의 DFDL을 발전하였다. 이러한 DFDL 시스템은 단일펄스(single pulse) 추출을 위해 부가적인 고가의 장치가 필요하지 않으며, 모드록킹 색소레이저의 출력에너지보다 10배 정도 큰 에너지로 발전하므로 증폭시스템을 작게 할 수 있는 경제적인 장점이 있다.^[10]

본 논문에서는 극초단 펄스 발생을 위한 단계적 시스템 구성의 전단계 실험으로 XeCl 레이저를 펌핑원으로 하여 가시광 영역에서 초단 펄스를 발생하는 DFDL과 색소레이저 증폭 시스템을 구성하였다. 그림 1은 XeCl 레이저로 펌핑하는 DFDL 발전기 및 색소 레이저 증폭기에 대한 장치도와 초단 펄스의 파형 측정을 위한 간섭형 자체상관계의 장치도를 보여 주고 있다. DFDL 발전부에서는 coherent한 두 펌핑 빔의 간섭패턴 구조에서 자발적 Q-스위칭(self Q-switching) 현상에 의한 sub-ns의 초단펄스 발전에 대하여 논의하며, 안정된 단일펄스 추출을 위한 소광장치(quencher)를 함께 구성하여 펌핑 레이저의 입력에너지와 DFDL 출력특성을 조사하고자 한다. 또한 그림 1에서와 같이 3단의 횡여기 색소레이저 증폭기를 사용하는 DFDL 증폭단에서는 초단펄스에 대한 증폭특성을 조사하기 위해 각각의 증폭기에서 펌핑에너지 변화 및 seed 빔의 광강도 증가에 따른 증폭율을 측정하고자 하며, double-pass 증폭을 통하여 DFDL의 출력에너지 증가를 시도하고자 한다. 여기서 각 증폭기에 대한 XeCl 레이저의 펌핑에너지는

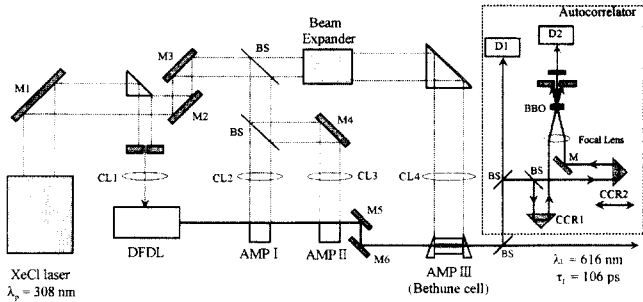


그림 1. DFDL 발진 및 증폭시스템의 개략도. DFDL : 분포궤환 색소레이저 발진기, AMP I, II, III : 색소레이저 증폭기, D1, D2 : Biplanar phototube, BS : 빔 분리기, CL : 원추형 렌즈, CCR : Corner Cube Reflector

증폭율을 고려하여 최적 분할하였으며, 펌핑레이저의 광강도 변화에 따른 ASE 증가 등의 광잡음에 대한 효과적인 제거 방법을 제시하고자 한다.

II. 분포궤환 색소레이저 발진 및 단일 펄스의 추출

본 논문에서는 초단펄스 발생을 위한 장치로 독일의 Max-Planck 연구소와 헝가리 Jate 대학교가 공동 개발한 분포궤환형 색소레이저 시스템^[11]을 채택하였다. 이 시스템은 DFDL의 발진 장치와 함께 단일펄스 발생을 위한 소광 장치(quencher)로 설계·제작되었으며,^[12, 13] 그림 2에 이러한 단일펄스 DFDL 발생 장치도(a)와 출력 특성(b)을 보인다. 본 실험에서 DFDL은 펄스폭 20 ns, 중심파장 308 nm의 XeCl 레이저(Questek; model 2560vβ)를 펌핑레이저를 사용하여 발진하였으며,^[13] 발진시 셀 표면에서 반사빔에 의한 기생발진을 방지하기 위해 이득길이 5 mm의 사다리꼴 색소셀을 발진기로 이용하였다. DFDL 이득매질은 색소 Rhodamine 101을 Methanol/Ethanol = 55/45비의 용매에서 농도 1.1×10^{-3} mol/l로 사용하였다.

DFDL의 발진에 대한 구조적 특성과 발생원리는 다음과 같다. 펌핑원으로 사용되는 XeCl 레이저는 색소레이저 이득매질 내에 간섭패턴을 만들기 위해 반사형 회절격자(2400 grooves/mm)를 이용하여 입사빔에 대하여 $\pm 47.7^\circ$ 를 가지는 +1, -1차 회절빔으로 분리하였다. 두 빔은 용융석영 블록에 재입사와 내부반사과정을 거친 후, DFDL 발진기의 이득매질에서 다시 만나 공간적으로 주기적인 이득 변조를 발생시키는 간섭패턴을 만든다. 여기된 색소 분자의 자발적 방출은 양방향으로 약한 파를 발생한다. 이와 같이 발생한 이득은 간섭패턴의 역방향(invert)부분에서 Bragg 반사에 의해 상호적으로 결합·중첩하여 반달모양의 정재파를 발생시키므로 DFDL은 외부 반사경을 사용하지 않고 레이저 공진기를 구성할 수 있다. 또한 레이저 매질내에서 Bragg 산란에 의한 레이저 발진특성이 있으므로 매우 높은 주파수 선택성을 가지는 장점이 있다. DFDL의 발진에서 광학적 되먹임(optical feedback)을 일으키는 메카니즘은 파동결합 모델(coupled-wave model)을 기초로 하여 선형적으로 분석한 Kogelnik와 Shank 등이 처음으로 연구하였

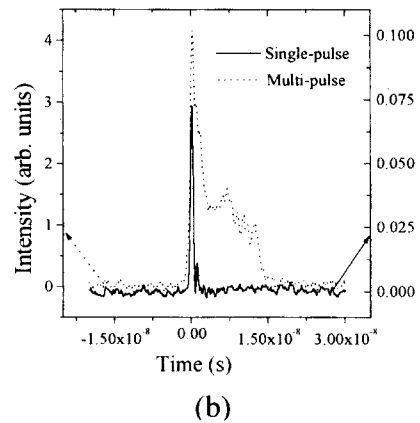
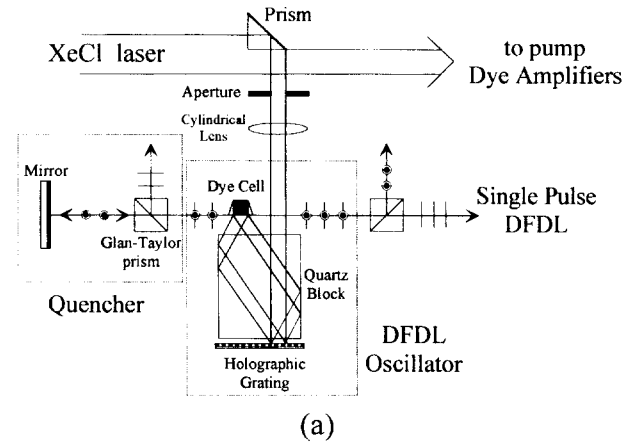


그림 2. DFDL 단일 펄스 발생 장치도(a)와 단일 펄스 및 다중 펄스의 시간적 파형(b).

다.^[14] 그 후 Bor는 펄스레이저 펌핑에 대한 이득 변조를 고려하여 DFDL의 시간적 출력특성에 관한 율방정식 모델을 제시하였다.^[15] 여기서 DFDL은 외부공진기를 가지는 레이저와는 다르게 공진기 감쇄시간이 레이저 상준위 분포의 제공에 비례하는 특성을 보인다. 이러한 비선형성을 가진 공진기 감쇄시간은 펌핑광의 입사 초기에는 길지만 유도 광에 의한 광자수가 증가하면서 급격히 짧아지게 되고, 이 과정에서 자발적 Q-스위칭(self Q-switching) 현상에 의한 짧은 펄스의 이완 발진(relaxation oscillation)이 일어난다.^[16] 이러한 펄스의 발생은 펌핑 빔의 에너지 크기에 따라 그 수가 결정되고 각 펄스의 발진 문턱 값의 크기가 다르므로 펌핑 빔이 지속적으로 주입되어 발진문턱값 이상의 이득이 유지되면 반복해서 레이저 펄스 발생 즉 다중펄스가 발생한다. 이러한 다중펄스 발생의 억제와 함께 안정적인 단일펄스 추출을 위해 본 연구에서는 색소셀 양편에 Glan-Taylor 프리즘을 설치하고 양쪽 방향으로 발진하는 DFDL중에서 한쪽 빔의 첫 번째 펄스를 두 번째 펄스가 발생되기 전에 색소셀에 재입사시켜 레이저 이득을 소멸시키는 소광 장치를 구성하였다. 그림 2(b)는 DFDL의 다중펄스(점선)와 소광 장치를 구성하여 얻은 안정적인 단일펄스(실선)의 시간적 파형을 광 검출기(Biplanar Phototube; Hamamatsu R1193U-02)와 오실로스코프(LeCroy 9362)를 사용하여 측정된 것이다.

III. 분포제한 색소레이저의 3단 증폭

DFDL 발전기에서 출력에너지는 μJ 이하의 크기이므로 그 자체만으로 제2고조파 발생이 어렵다. DFDL 시스템은 XeCl 레이저 증폭기에서 초단펄스의 UV seed 빔 발생을 위한 것으로 제2고조파에 의한 UV 빔 발생이 가능한 펄스에너지를 갖도록 3단의 색소레이저 증폭 시스템을 구성하였다. DFDL의 발전 및 증폭기에 펌핑용으로 사용된 XeCl 레이저의 출력에너지가 120 mJ일 때 3단의 색소 증폭기로 향하는 펌핑에너지는 75 mJ이었다. 여기서 XeCl 레이저의 출력에너지와 각 증폭단에서의 펌핑에너지는 ED-500(Gentec) 에너지메타를 사용하여 측정하였다. 전치 증폭단으로 사용하는 증폭기I과 증폭기II에는 반사율 15%의 빔분할기로 분리한 펌핑용 XeCl 레이저 빔을 입사하였다. 분리된 XeCl 빔은 각 증폭기의 크기에 맞추기 위해 프리즘을 사용하여 증폭기I과 증폭기II에 각각 $7\text{ mm} \times 15\text{ mm}$, $15\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ 크기로 잘라 사용하였으며, 이때, 입사 에너지는 각각 3 mJ, 8 mJ이었다. 최종 증폭단인 증폭기III에는 Bethune cell을 사용하였는데 셀 입사면의 크기를 고려하여 펌핑빔의 크기를 빔확대 광학계로 조절하였으며, 45° 반사경을 사용하여 증폭기에 입사한 펌핑 빔의 에너지는 35 mJ이었다.

전치 증폭단에서 DFDL 입사 빔과 펌핑 빔에 의한 최적 증폭을 위해 증폭기I과 증폭기II에 대한 입·출력 특성을 조사하였다. 그림 3은 증폭기I, II의 배치(a)와 증폭 특성(b, c)을 나타낸다. 증폭기I, II는 이득매질 Rhodamine 610을 용매 Methanol에서 $6 \times 10^{-4}\text{ mol/l}$ 의 농도로 각각 길이 5 mm, 10 mm의 색소셀에 담아 사용하였으며, 자기적으로 결합된 마이크로 펌프(Radiant; RDG250)를 이용하여 색소용액을 5 l/Min.의 속도로 순환시켰다. 또한 색소셀을 그림 3(a)와 같이 DFDL 입사빔에 대하여 약 25° 정도 기울여 설치함으로써 셀 표면에서의 기생발전과 ASE의 발생을 억제하였다. 펌프 빔은 이득매질을 통과하는 seed 빔의 크기에 대해 횡여기시키는 공간적 분포 및 펌핑 광강도의 최적화를 위해 원주형 렌즈(cylindrical lens)를 사용하여 펌프 빔의 크기를 조절하였다. 렌즈는 초점거리는 15 cm이며, 펌프 빔의 초점면을 색소셀 뒤에 위치시켜 색소셀의 손상과 ASE 증가에 의한 광잡음을 줄일 수 있었다.

그림 3의 (b)와 (c)는 각각 XeCl 레이저의 횡여기 펌핑에서 입력에너지 변화에 따른 DFDL의 증폭특성을 증폭기I, II에 대해 조사한 것이다. 여기서 seed 빔과 증폭된 빔의 에너지는 에너지메타와 출력 신호의 100배 증폭이 가능한 증폭기로 측정이 불가능한 작은 값이므로, 광 검출기(Biplanar Phototube)를 사용하여 측정할 DFDL 입·출력 빔에 대한 강도의 비로 증폭율을 구하였다. 증폭기I은 1.0 mJ이상의 펌핑에너지에서 증폭율이 10배로 포화되었고, 증폭기II에서는 펌핑에너지가 2.5 mJ 이상일 때 증폭율이 25~30 배인 포화 증폭현상을 보인다. 이와 같이 전치 증폭단에서 XeCl 레이저의 펌핑용 에너지는 포화 증폭이 가능할 정도로 에너지가 충분함을 확인할 수 있었으며, 최종 증폭단과 XeCl 레이저의 펌핑에너지 분배를 최적화 할 수 있었다.

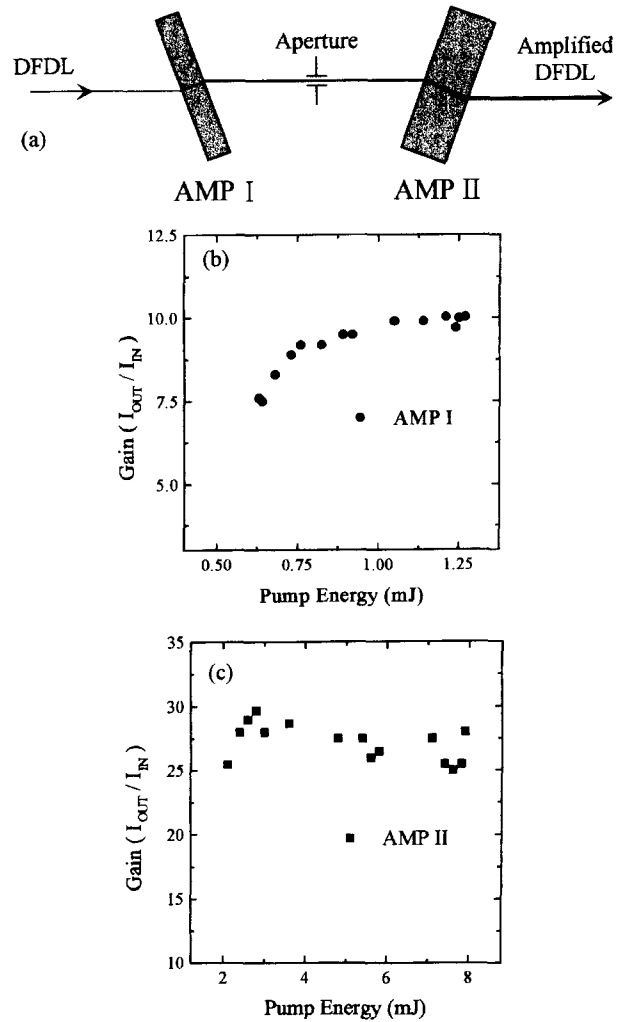


그림 3. 색소 레이저 증폭기I, II의 배치와 증폭 특성. (a) DFDL 입사빔에 대한 횡여기 증폭기I, II의 배치도, (b) 증폭기I에서 펌프에너지에 따른 에너지 증폭율 변화, (c) 증폭기II의 single-pass 증폭에서 펌프에너지에 따른 에너지 증폭율 변화.

한편 증폭기I, II에서 출력 빔에 대한 ASE 비는 각각 2%, 15%이었다. 펌핑에너지 증가에 의해 발생하는 ASE의 증가는 그림 3(c)에서 보인 증폭기II의 증폭율 불안정함과 같이 광강도의 크기에 영향을 주고 있으며, 광의 공간 분포 및 질 (quality)의 불균일함을 일으킴으로서 최종 증폭의 최적화에 많은 문제로 대두되었다. 따라서 최종 증폭의 전단계인 증폭기II에서 증폭된 빔은 ASE의 제거가 필수적으로 요구된다. ASE는 증폭된 레이저의 파장과 빔퍼짐에서 각각 서로 다르므로 일반적으로 공간 필터(spatial filter)가 ASE 제거에 사용되고 있으나 광진행 방향에 섞인 ASE의 제거가 어렵다는 단점이 있다. 또한 증폭된 빔은 UV 엑시머 증폭기의 seed 빔으로 사용하기 위한 파장 변환과정을 거쳐야 하므로 다른 파장 또는 빔단면의 무늬가 없어야 한다. 이러한 점을 고려하여 본 실험에서는 증폭기II를 그림 4와 같이 구성하여 최종 증폭과정에서 광질 (beam quality)에 심각한 문제를 발생시키는 ASE를 효과적으로 제거하였다. DFDL은 증폭기II에서 첫 번째 증폭

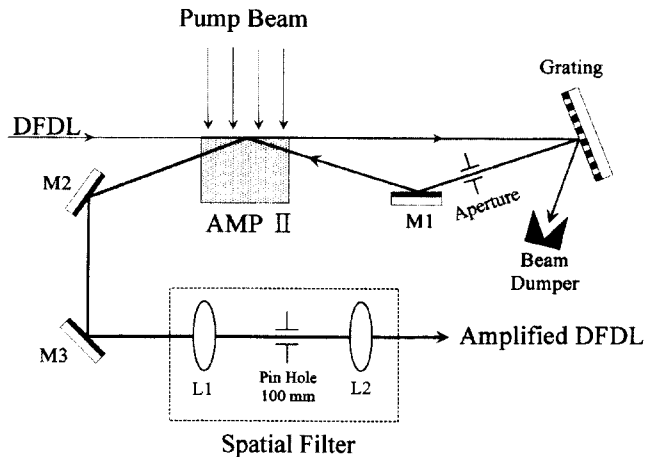


그림 4. 증폭기II의 구조.

된 후, 회절격자(1800 grooves/mm)에 각도 70°로 입사되었으며 DFDL의 -1차 회절 빔을 사용하여 ASE를 제거하였다. 여기서 회절격자에 반사된 빔과 ASE가 제거된 -1차 회절 빔의 강도는 입사 빔의 68%로 감소하였다. DFDL의 -1차 회절 빔은 aperture 통과후 빔 단면적을 조절하여 증폭기II에 재입사되어 1차 통과 빔 강도의 2.3배까지 증폭되었다. 이와 같이 증폭기II의 single-pass 및 double-pass 증폭은 각각 28배와 45배의 최적 증폭율을 얻었다. 또한 증폭기II에서 2차 증폭된 DFDL은 최종 증폭단에 입사되기 앞서 spatial filter를 사용하여 공간적 광잡음을 제거함과 함께 최적증폭을 위한 빔 크기로 조절하였다.

본 실험에서는 증폭기I 및 증폭기II에서 횡방향 여기방식을 취함으로써 발생한 DFDL의 공간적인 불균일 증폭을 해결하기 위해서 Bethune cell¹⁷⁾을 증폭기III으로 사용하였다. 이러한 최종증폭단의 개략도와 단면도는 그림 5에서 볼 수 있다. Bethune cell은 용융석영을 재질로 입사면 30×25.5 mm², 빔면길이 18 mm인 직각프리즘에 직경 2 mm의 구멍을 뚫어 색소가 흐르도록 하였다. 색소는 Rhodamine 610을 용매 Ethanol에서 3×10⁻⁴ mol/l의 농도로 사용하였다. 펌핑 빔은 그림 5(b)에서와 같이 이득매질의 상·하·좌·우의 위치에서 여기시켜야 하므로 직경 2 mm보다 4배 큰 8 mm로 입사하였다. 이러한 펌핑방식은 공간적으로 균일한 증폭을 가져오므로 최종적으로 파장변환을 위한 제2고조파 발생시 좋은 결과를 가져오게 된다.

그림 6은 Bethune cell을 1차 통과하였을 때 seed 빔의 입력에너지 변화에 대한 출력에너지 및 증폭율을 보이고 있다. 증폭된 DFDL의 출력에너지는 입력에너지의 0.25~2.5 μJ로 증가함에 따라 35~168.2 μJ의 출력에너지를 얻었으며, 120 배에서 70배의 증폭율을 확인할 수 있었다. 여기서 DFDL 출력에너지는 에너지미터(Gentec; ED-100A)의 전기적 신호를 오실로스코프(HP 54100A/D)로 측정하여 구하였다. 최종 증폭 단에서의 1차 증폭은 에너지 포화 증폭보다는 DFDL의 공간적으로 균일한 증폭에 중점을 두었으며, 그림 5(a)와 같이 두 번 통과에 의한 2차 증폭에서 최적 증폭을 수행하였다. 여기서 ASE를 제외한 최대 출력에너지는 471 μJ이었다.

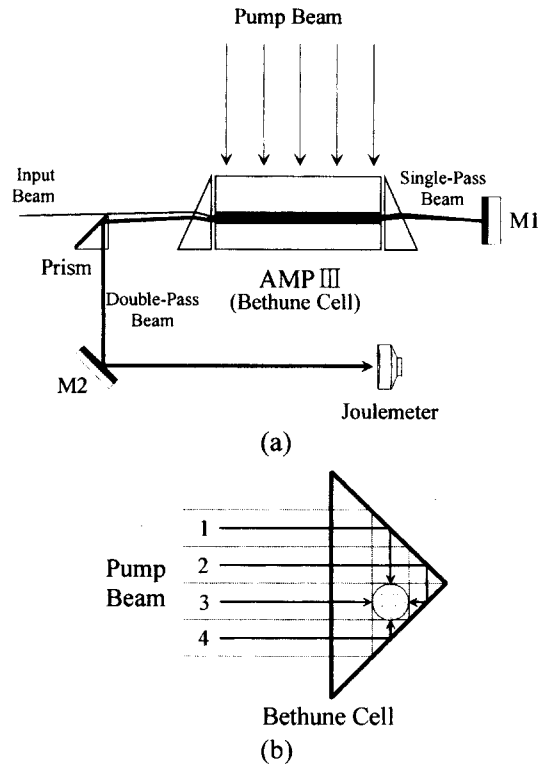


그림 5. 최종증폭단의 개략도(a)와 Bethune cell의 단면도(b).

그림 7은 Michelson 간섭계, BBO(β -BaB₂O₄) 결정, 광검출기로 구성된 간섭형 자체상관계를 사용하여 얻은 자체상관 신호를 나타낸 것이다. 여기서 측정값은 제2고조파 빔의 강도변화를 광전관을 이용하여 구하였으며, 점선으로 나타낸 계산 값은 펄스형태를 $\text{sech}^2(t)$ 파형으로 가정하여 측정값에 fitting한 것이다. 측정된 시간 펄스 폭은 106 ps이다. DFDL의 스펙트럼은 스펙트로메타(MonoSpec 27, Thermo JarrellAsh)와 다채널 광분석기(MOA LS-2000, Alton Inst.)를 사용하여 측정하였으며, 중심파장은 616 nm이었다. 이러한 중심파장을 갖는

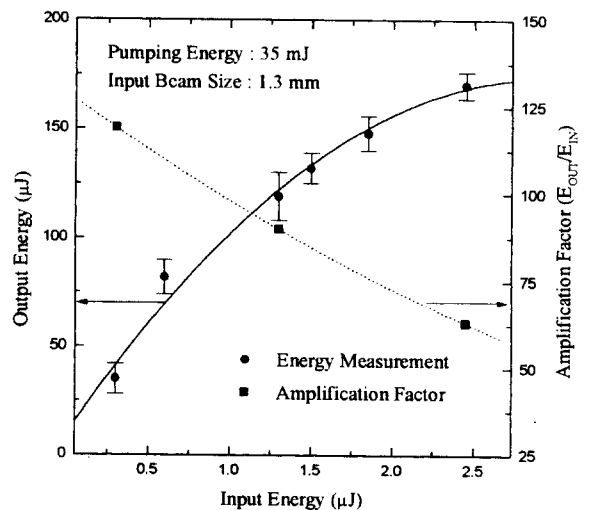


그림 6. 증폭기III에서 DFDL의 입사에너지 변화에 따른 증폭 특성.

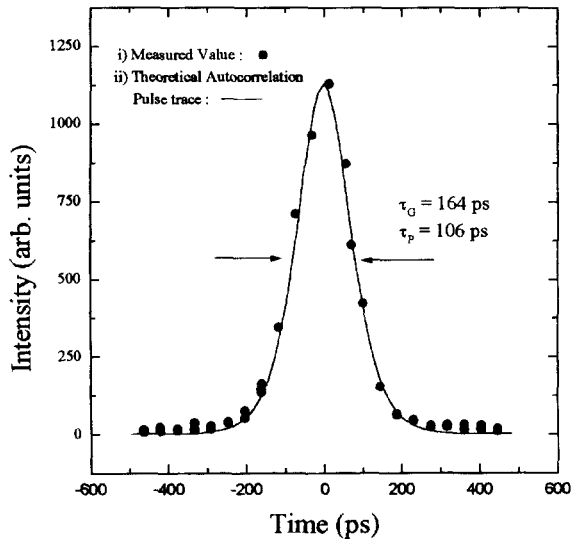


그림 7. DFDL의 자체상관 신호와 시간적 펄스 파형.

DFDL 증폭빔은 BBO 결정을 이용한 제2고조파 발생을 하였을 때, 초단펄스 고휒력 UV 엑시머 증폭의 seed 광원으로 사용할 수 있는 크기의 광강도와 공간적으로 균일한 빔질을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 XeCl 엑시머 레이저를 펌핑원으로 사용하여 초단 DFDL의 안정된 단일펄스를 발진하였으며, DFDL의 고강도화를 위해 3단의 색소 레이저 증폭기를 사용하였다. 횡방향 여기 방식을 사용한 증폭기 I, II에서는 이득길이 5 cm, 10 cm인 색소셀에 농도 6×10^{-4} mol/l의 Rhodamine 610을 담아 이득매질로 하였다. 또한 공간적 빔질과 증폭을 저하에 원인이 되는 ASE 등의 광잡음을 제거하고, 펌핑 에너지에 대한 증폭 특성을 조사하여 전치증폭단으로서 최적증폭을 하였다. 펌핑 에너지 증가에 대해 증폭기 I은 증폭을 10배의 에너지 포화특성을 보였으며, 증폭기 II에서는 회절격자를 이용한 광잡음 제거와 double-pass 증폭을 통하여 45배의 증폭결과를 얻었다. 최종 증폭 단으로는 4방향에서 여기하는 Bethune cell을 사용하

여 공간적으로 균일한 증폭을 수행하였고, double-pass 증폭을 통하여 471 μ J의 출력에너지를 가지는 DFDL 빔을 얻었다. 최종 증폭된 DFDL의 중심파장은 616 nm이었으며, 간섭형 자체상관계를 사용하여 측정된 시간 펄스폭은 106 ps이었다.

본 연구의 결과는 제2고조파 발생을 통하여 XeCl 엑시머 증폭 시스템의 seed 빔인 UV 초단 펄스 개발에 활용하기 위함이며, QCDL 및 SCDL과 연계하여 펌토초의 극초단 고휒력 레이저시스템을 구성할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] S. Szatmári, G. Alm si, M. Feuerhake and P. Simon, Appl. Phys. B **63**, 463 (1996).
- [2] F. Hosoi, M. Shimura, Y. Nabekawa, K. Kondo and S. Watanabe, Appl. Opt. **35**, 1404 (1996).
- [3] S. Seznec, C. Sauteret, S. Gary, E. B chir, J. L. Bocher and A. Mígus, Opt. Commun. **87**, 331 (1992).
- [4] K. Yamakawa, H. Shiraga and Y. Kato, Opt. Lett. **15**, 1593 (1991).
- [5] D. E. Casperson, J. A. Cobble, R. D. Fulton, G. A. Kyrala, G. T. Schappert, A. J. Taylor and E. Wahlin, J. Appl. Phys. **74**, 3707 (1993).
- [6] U. Teuber, J. Bergman, B. V. Wouterghem, F. P. Sch fer and R. Sauerbrey, Phys. Rev. Lett. **70**, 794 (1993).
- [7] S. Szatm ri, Appl. Phys. B **58**, 211 (1994).
- [8] Y. Nabekawa, K. Kondo, N. Sarukura, K. Sajiki and S. Watanabe, Opt. Lett. **18**, 1922 (1993).
- [9] S. Szatm ri and F. P. Sch fer, SPIE Proc. **1023**, 71 (1989).
- [10] S. Szatm ri and F. P. Sch fer, SPIE Proc. **1268**, 22 (1990).
- [11] J. Hebling, Appl. Phys. B **47**, 267 (1988).
- [12] D. Xenakis, M. H. R. Hutchinson, F. O'Neill and I. C. E. Turcu, J. Appl. Phys. **71**, 85 (1992).
- [13] 김용평, 김규욱, 이영우, 김홍식, 응용물리 **9**, 14 (1996).
- [14] H. Kogelnik and C. V. Shank, J. Appl. Phys. **43**, 2327 (1972).
- [15] Z. Bor, IEEE J. Quantum Electron. **QE-16**, 517 (1980).
- [16] Z. Bor and A. M ller, IEEE J. Quantum Electron. **QE-22**, 1524 (1986).
- [17] D. S. Bethune, Appl. Opt. **20**, 1897 (1981).

Three-staged amplifier properties of single-short pulsed distributed feedback dye laser using a XeCl laser.

Seong-Hoon Kim

Optics Groups, Korea Research Institute of Standards and Science, Teajon 305-600, Korea

Young-Woo Lee

Department of Electronics Engineering, Mokwon University, Teajon 302-729, Korea

Yong-Pyung Kim

Department of Electronics Engineering, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

(Received May 26, 1999, Revised manuscript received October 8, 1999)

The amplifier properties of single distributed feedback dye laser with 106 ps pulse width and 616 nm wavelength were investigated using only one XeCl-excimer laser as pump source. For optimized amplification of DFDL, the three-stage amplifiers were arranged with increasing cross-section and accordingly increasing pump energies. The first Amplifier, II stages were dye cell of 5 mm, 10 mm and contained a 6×10^{-4} [mol/l] (solvent : Methanol) of Rhodamine 610. Double-pass amplification in the Amplifier II was measured to suppress the ASE by using a diffraction grating. The beam intensity of Amplifier I, II was saturated with a gain of respectively 10 and 48. The last Amplifier III was Bethune cell of 30 mm and contained a 3×10^{-4} [mol/l] (solvent : Ethanol) of Rhodamine 610. In the single-pass and double-pass amplification, the output energy was obtained 168.2 μ J and 471 μ J respectively.