

질소 레이저를 이용한
DFDL (distributed feedback dye laser) 제작과 특성

이 용 산 , 이 상 수
한국과학기술원 물리학과

초 록

The distributed feedback dye laser is a source of single picosecond pulses tunable in a very wide wavelength range. Operational principles, experimental arrangements, and recent applications are reviewed.

I 서 론

일반적인 레이저와는 달리 DFDL(distributed feedback dye laser)은 optical feedback을 일으키는 구성요소 즉 공명기를 갖고 있지 않다. 따라서 레이저 발진에 필요한 feedback은 활성매질내에서 Bragg scattering에 의해 이루어진 광매개변수들의 공간적인 주기적 변화에 기인한다[1]). 이 때 광매개변수들로는 대체로 활성매질의 굴절률[1], [2], 광이득[3] 등으로 알려져 있으며, 이러한 원리는 액체[3], 기체 [4]에서 뿐만 아니라 고체 [2]에도 적용 할수가 있다. 이렇게 DFDL에 사용되는 레이저 매질로는 넓은 영역에 대해 가변 가능하며 매우 짧은 펄스를 얻어내기 위하여 방출 띠가 넓은 매질(broad emission band)을 필요로 한다[5], [6], [7].

II DFDL의 원리, 실험장치

1) 원리

1971년 Kogelnik & Shank가 SHG 루비레이저를 써서 DFDL을 제작하였던 예에서와 같이 (그림 1) 림프 레이저의 결맞는 광을 빗살 가르개를 써서 세기가 같은 두개의 빗살로 나누어 준다. 이 각각을 다시 거울로 반사시킨 후 두개

의 펌프 광을 Dye solution내에서 간섭시켜 Bragg 조건을 만족하는 간섭무늬를 만든다. 이때 펌프광이 레이저 매질의 이득 및 굴절률의 주기적인 변화를 가져오게 된다. 이때 들뜬 dye 분자들에 의한 spontaneous emission은 두개의 서로 반대 편에서 마주쳐 오는 파를 만든다. 이렇게 만들어진 두개의 파는 중첩되어 정상파를 형성하게 된다. 이런 과정을 통해 생긴 정상파는 두드러진 방향성을 갖게 되는데 레이저 매질의 가로축을 따라서 펌프광으로 유도된 격자들이 확장된다는 사실로써 알수 있다. 이렇게 Bragg 산란을 만족하게될 때 단일 주파수 선택이 용이하며 매우 좁은 선폭의 레이저를 얻을수가 있게된다. 만일 일차 Bragg 산란을 고려하여 이때 얻어지는 레이저 파장은

$$\lambda_p = 2n_L \Lambda$$

λ_p 는 DFBL 파장 n_L 은 dye solution의 굴절률, Λ 는 간섭무늬 간격으로

$$\Lambda = \lambda_p / \sin \theta$$

으로 주어지며 λ_p 는 펌프광의 파장이며 θ 는 두 간섭광의 사잇각 이다.

2) 실험장치

이론적으로는 0.1mJ 이상의 가시영역이나 자외선영역의 펄스레이저가 DFBL의 펌프광원으로 적합한데 주로 N_2 laser, Excimer laser, Cu vapor laser 등이 적합하지만 이들은 결맞음 성질이 낮은 것이 흠이다. 이러한 결함은 빛살가르기로 holographic grating을 써서 줄일수 있으며 이것은 grating의 같은 점에서 회절된 광은 같은 점에서 회절된 광끼리 간섭시키는 원리이다. 만일 두개의 반사 거울이나란하며 grating에 대해 수직하도록 조건을 맞추어 준다면 다음과 같은 기하학적 관계식을 쓸수 있다. (그림 1)

$$x/y = \sqrt{(d/\lambda_p)^2 - 1}$$

여기서 두 반사 거울 사이의 거리가 y, grating과 cell 사이의 거리가 x, grating grooves 간격이 d이며 λ_p 는 펌프광의 파장이다. 이때 α 와 θ 는 같게된다. 이렇게 Holographic Grating을 쓸 때 1차 Bragg 조건에의해 펌프광은 아래의 식을 만족하며 두개의 광으로 회절된다.

$$\sin \alpha = \lambda_p / d$$

또한 두개의 광이 간섭될 때 생기는 간섭무늬에 대해

$$\Lambda = \lambda_p / 2 \sin \theta$$

에서 $\lambda_0 = n_L d$ 를 얻게 되는데 여기서 펌프 파장과 무관하게 되어 파장의 여러가지 결함들 -상대적으로 큰 대역폭, 몇몇 spectral components -의 효과를 제거시킬수 있다. 특히 두개의 반사 거울을 fused quartz block으로 대신 할수 있으며 이때 quartz block- air 사이에서는 전반사가 일어나기 때문에 두개의 거울을 대신하는 원리이다. (그림2)

3) DFDL의 모델 및 컴퓨터 수치해석

$$\begin{aligned} dn/dt &= I_p(t) [N - n(t)] \sigma_p \eta * n(t) q(t) - n(t) / \tau \\ dq/dt &= (\sigma_e - \sigma_a) c / \eta * n(t) q(t) - q(t) / \tau_c(t) + \Omega n(t) / \tau \end{aligned}$$

The meaning of the symbols is as follows:

- $n(t)$: spatially averaged density of molecules in the first excited singlet state S [cm^{-3}]
- $q(t)$: density of DFDL photons [cm^{-3}]
- N : density of dye molecules [cm^{-3}]
- $I_p(t)$: spatially averaged pump photon flux per unit area [$\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]
- σ_p : absorption cross section from S to higher lying singlet states at the pump wave length λ_p [cm]
- σ_a : excited states absorption cross section from S_1 to S_2 at the wavelength λ_0 [cm]
- σ_e : stimulated emission cross section from S_1 to S_0 at lasing wavelength [cm]
- τ : fluorescence lifetime in the absence of stimulated emission and quenching process [s]
- τ_c : equivalent cavity decay time [s]
- c : speed of light [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$]
- η : refractive index of the dye solution
- Ω : factor determining that fraction of the spontaneous emission which propagate into the angular and spectral range of the DFDL beam

III 결 론

DFDL의 동작 원리 및 실험 장치 그리고 율방정식 (rate equation)의 모델을 세워서 이의 컴퓨터 수치해석을 하여 넓은 영역에 걸쳐 가변가능한 단일 picosecond 펄스를 얻을수 있음을 알았다.

참고문헌

1. H. Kogelnik and C.V.Shank, Appl.phys. lett., 18,152,1971
2. I.P.Kaminov,H.P.Weber, Appl.phys.lett.,18,497,1971.
3. C.V.Shank,J.E.Bjorkholm,and H.KOgelnik,Appl.phys.lett.,18,395,1971
4. E.Falter and F.K.Kneubuehl,IEEE QE-17,1115, 1982
5. Zs.Bor IEEE QE-16,517, 1980
6. Zs Bor etc, Appl.phys.B. 27,9,1982
7. Zs Bor etc, IEEE QE-22,1524,1986

그림 설명

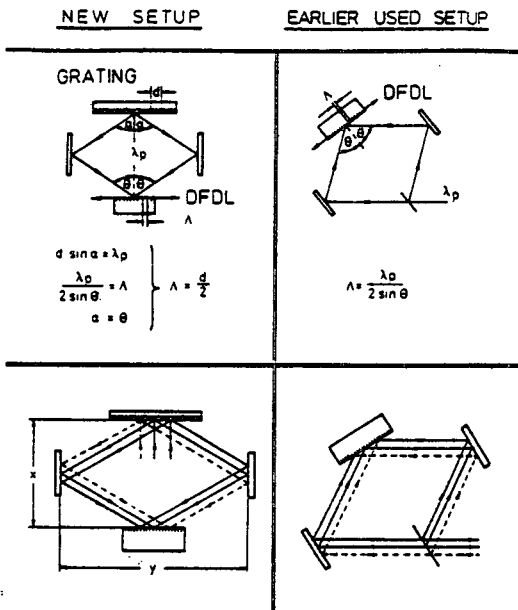


Fig. 1. Arrangements for producing distributed feedback in a cell with a laser dye solution: (right-hand side) with a 50 percent beamsplitting mirror, and (left-hand side) with a reflecting holographic diffraction grating as beamsplitter. λ_p = pump beam at wavelength λ_p , d = groove spacing of the grating, α = angle of diffraction on the grating, θ = interference angle, Λ = interference fringe separation, and DFDL = distributed feedback dye laser beam. The lower part illustrates the generation of the interference pattern by superposition of the fractional beams. See text for details.

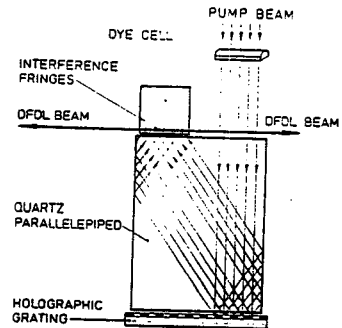


Fig. 2. Pumping arrangement for the distributed feedback dye laser