

Nd⁺³ 첨가 단일모드 광섬유 레이저 제작 및 발진특성

이 상배, 조 재철, 최 상삼
한국 과학기술연구원 응용광학실
김 영 덕
서강대학교 물리학과

(Abstract)

We report the operation of an Nd⁺³ doped silica single mode fiber laser pumped by a 514.5nm Ar laser. A CW output power in excess of 0.27mW at 1.096um has been obtained with a sloped efficiency of 0.23% and a 15nm badnwidth.

I. 서 론

실리카 유리를 재료로 하는 광통신용 광섬유의 코아에 소량의 rare earth 물질 (대표적으로 Nd⁺³, Er⁺³ 등)을 첨가하여 광섬유 형태의 광증속기와 레이저를 개발하는 연구가 최근 수년간 활발하게 진행되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 이 새로운 형태의 광섬유 소자는 광섬유 코아에 첨가 되는 물질에 따라 독특한 fluorescence가 발생되므로 쉽게 새로운 광원을 얻을 수가 있으며, 특히 Nd⁺³ 와 Er⁺³ 는 광통신의 제2, 제3 차손실 window 인 1.33um 와 1.55um 에서 fluorescence 가 발생하여 이를 이용하면 광통신용 광증속기로 사용할 수 있다.

Nd⁺³ 이 첨가된 실리카 유리는 939nm, 1.09um, 1.36um 에서 강한 fluorescence 가 나타나는 데 이는 Nd 의 ⁴F_{3/2} state 에서 ⁴I_{9/2}, ⁴I_{11/2},

⁴I_{13/2} 로의 전이에 의한 것이다. ⁴F_{3/2} 에서 ⁴I_{11/2}, ⁴I_{13/2} 로의 전이는 4준위 system 이며 ⁴F_{3/2} 에서 ⁴I_{9/2} 로의 전이는 준 3준위 system 이다. 본 실험에서는 쉽게 발진되며 fluorescence intensity도 강한 Nd⁺³ 의 ⁴F_{3/2} - ⁴I_{11/2} 로의 전이를 이용하여 1.09um 근방의 사장에서 두개의 레이저 거울을 사용하여 Fabry-Perot 형 광섬유 레이저를 구성하였으며 그의 발진 특성 극선과 pumping power 에 따른 출력 스펙트럼을 조사하여 보았다. 위와 같은 광섬유 레이저를 일반 glass 레이저와는 다른 몇가지 특성이 있다. 첫째는 일반 glass 레이저에서는 쉽게 얻지 못하는 연속 발진이 가능한 것인데, 그것은 레이저 매질이 광섬유 구조를 갖기 때문에 빛이 전송되는 코아 부분에 높은 에너지의 여기 광을 집중 시킬 수 있으며, 또한 코아의 채적에 비해 표면적이 넓고 코아 주변의 유리층의 채적이 상대적으로 크므로 쉽게 냉각되기 때문이다. 또 아나는 일반 glass 레이저에 비해 발진 사장이 약간씩 장사장 쪽으로 선이되어 있는데 그것은 광섬유 코아 내의 Nd⁺³ 원자 주위의 crystal field 가 다르기 때문이다.

광섬유 레이저는 저렴한 가격으로 쉽게 다양한 사장의 광원을 얻을 수 있고, 레이저 공진기가

유연한 특성이 있으므로 센서나 의료분야에 장점이 있을 것이며, 특히 통신용 광섬유와 구조상 동일한 장점으로 인해 높은 결합 효율로 접속 사용될 수 있을 것이다.

II. 광섬유 레이저 제작

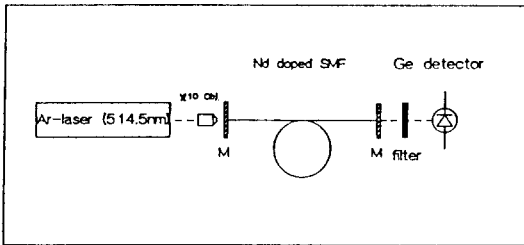


Fig. 1. Experimental set up ; Nd³⁺ doped fiber laser pumped by 514.5nm Ar laser. M is the dichroic laser Mirror.

Nd³⁺ 가 첨가된 단일모드 광섬유로 레이저 공진기를 구성할 때 몇가지 점을 고려해야한다. 첫째, 여기 광원의 사장을 결정해야 하는데 그것은 Nd³⁺ 가 첨가된 광섬유의 광 흡수 스펙트럼을 보고 결정해야 한다. 조사된 바에 의하면⁽⁴⁾ Nd³⁺ 이 첨가된 광섬유는 510nm, 590n, 800nm 그리고 900nm 근방에서 강한 흡수선이 있다. 본 실험에서는 514.5nm Ar 레이저를 여기광으로 사용하여 실험하였다. 두번째, 사용되는 광섬유의 적정길이를 선택하는 것이 중요하다. 이는 pumping 효율이 좋도록 하기 위한 것인데, 여기 사장에서와 광손실을 조사하여 입사광의 강도가 1/e 로 떨어질 때까지의 길이를 선택해야 한다. Nd³⁺ 의 4F_{3/2} - 4I_{11/2} 전이와 같은 4준위 시스템은 다소 길이가 길어도 threshold power 가 증가하거나 이득이 다소 떨어지는 정도의 변화가 있지만, Nd³⁺ 의 4F_{3/2} - 4I_{9/2} 로의 전이와 같은 3준위 시스템은 전이

사장에서 광 흡수와 방출이 동시에 이루어지므로 적정길이를 선택하는 것이 특히 중요하다. 본 실험에서 사용한 광섬유는 1.06um 에서 단일 모드이며, NA 가 0.13, 514.5nm 에서 흡수 계수가 4,402x10⁻²/cm 인 광섬유이며 이론적인 적정 길이는 22.71cm이었고 실제 실험에 사용한 길이는 43cm 이었다. 실험에 사용되는 광섬유는 레이저 거울과 접촉면 사이에 공기층을 제거하기 위해 외경이 7mm 내경 150um 인 capillary column 에 에폭시로 고정시켜 cutter 로 자른후 연마기로 정밀 연마하였다.

이와같이 레이저 공진기를 구성한후 그림1과 같이 장치하여 광섬유 레이저를 발진시켰다. 이 실험에서 사용된 레이저 거울은 여기 사장을 잘 통과시키고 발진사장은 잘 반사시키는 dichroic 거울이어야 하며 현미경 대물렌즈로 여기광을 광섬유에 입사시킬때 정밀하게 입사 되도록 거울의 두께가 얇아야 한다. 본 실험에 사용한 dichroic 레이저 거울은 두께가 0.1mm 이고 여기사장 514.5nm 에서 80%의 투과특성을 지니며 발진사장에서 99% 반사율을 가지는 것을 사용하였다. 그림 1의 filter 는 광섬유를 통과해 나오는 514.5nm 여기사장을 제거하기 위해 700nm 에서 cuton 되는 filter 를 사용하였고 Ge detector (Anritsu Model ML93A) 를 사용하여 레이저 출력을 측정하였다.

III. 광섬유 레이저 발진 특성

여기광원의 세기에 따라 1.096um 사장에서 연속발진하는 광섬유 레이저의 출력 관계 그래프가 그림 2 이다.

광섬유 레이저는 514.5nm 여기광원이 13mW 흡수 되었을 때 발진되기 시작하였으며 여기

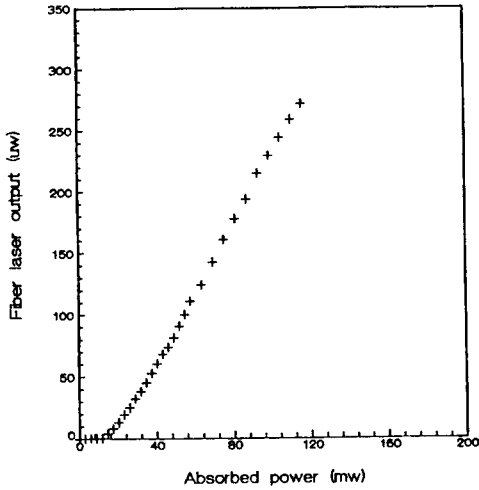


Fig 2. Lasing characteristic of fiber laser operating at 1.096um

사장의 power 가 116mW 흡수 되었을 때 광섬유 레이저의 최대 출력 0.27mW 가 측정 되었으며 slope 의 효율은 0.23%로 측정 되었다. Slope의 효율과 출력이 낮은 것은 광섬유 레이저의 출력 거울의 반사율이 높기 때문이며 이의 반사율을 적절히 조절함으로써 더 많은 발진 출력을 얻을 수 있을 것이다. 그림 2에서 우리는 광섬유 레이저의 발진 특성이 전형적인 그래프와 동등함을 확인할 수 있었다.

광섬유 레이저의 횡 모드 형태는 그림 3과 같다.

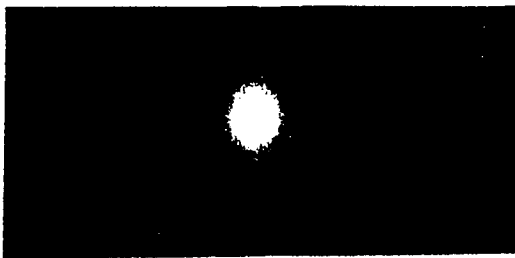


Fig 3. Transverse mode pattern of the fiber laser operating at 1.096um

그림 3은 그림 1의 장치도에서 Ge detector 대신 스크린을 설치하여 그곳에 나타나는 광섬유

레이저 출력 모드 모양을 CCD 카메라로 촬영한 것이다. 이로써 우리는 광섬유 레이저가 1.096um 사장에서 LP₀₁이 모드로 연속 발진하고 있음을 확인할 수 있었다.

광섬유 레이저 출력 사장을 여기 광원의 세기에 따라 측정한 그래프가 그림 4이다.

여기 광원의 세기 P 와 threshold 출력 P_{th} 의 비가 8.8 일때 광섬유 레이저 출력은 1086nm 에서 1106nm 까지 약 20nm 에 걸쳐 나타나며 FWHM 은 15nm 이었다. 여기 광원의 세기가 threshold 의 4배 이상일때 출력 사장의 스펙트럼은 약 20nm 로 거의 동일하였다. 이와 같은 광섬유 레이저의 넓은 출력 사장 영역은 출력 레이저 거울 대신 회절발등을 이용하면 넓은 영역에 걸쳐 출력 사장이 변화되는 레이저 광원으로써 개발이 가능함을 시사해준다.

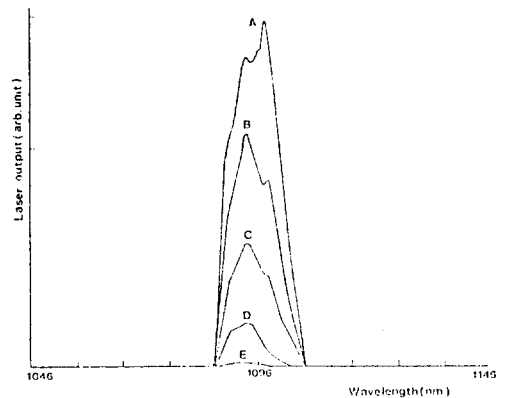


Fig 4. Fiber laser output spectrum as a function of pump power P/P_{th} ; A=8.8, B=6, C=4, D=2 E ≈ 1

IV. 결론

Nd³⁺ 가 첨가된 단일 모드 광섬유와 두 개의

dichronic 레이저 거울을 이용하여 Fabry - Perot 공진기를 구성한 후, 514.5nm Ar 레이저로 광섬유 한쪽 끝에서부터 여기함으로써 1.096um 사장의 연속발진 광섬유 레이저를 발진시켰다. 발진 threshold power 는 13mW 이고 발진 특성곡선의 slope 효율은 0.23% 이었다. 또한 발진된 광섬유 레이저는 20nm 의 넓은 영역의 발진 사장폭을 갖는 특성을 가지고 있었으며, threshold 출력의 4배 이상의 여기 광원으로 여기시켰을 때 출력 사장의 스펙트럼 대역은 거의 동일하였다.

이와같은 실험을 토대로 차기 연구는 가장 가변 레이저의 개발과 Q-switching 광섬유 레이저 또는 Mode locked 광섬유 레이저 개발을 수행함과 동시에 다른 rare earth 물질 (Er^{+3} 등)을 첨가한 광섬유 레이저를 개발하는 연구를 계속 수행할 계획이다.

Ⅴ. 참고 문헌

- (1) P. Urquhart, IEE Proceedings, 135, 385 (1988)
- (2) W.L. Barnes et al., J. Lightwave Technol., 7, 1461 (1989)
- (3) R.I. Laming et al., Electron., Lett., 25, 12 (1989)
- (4) B.J. Ainslie et al., J. Lightwave Technol., 6, 287 (1988)

* 본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구 개발사업의 하나로 수행되었읍니다.