

음향광학 대역투과 필터를 사용한 파장가변 단일 주파수 광섬유 레이저

Tunable Single-Frequency Er-Doped Fiber Laser Using Acousto-Optic Bandpass Filter

용재철, 이명수, 김병윤
한국과학기술원 물리학과
s_jcyong@cais.kaist.ac.kr

1.55 μm 파장 대역에서 동작하는 파장가변 단일 주파수 레이저는 WDM 통신 시스템, 광섬유 센서, 분광학 분야에 유용하게 사용될 수 있다. 특히 어븀첨가 광섬유 레이저로 파장가변 단일 주파수 레이저를 구현하면 선폭이 가늘고, 세기 잡음이 작고, 출력 세기가 크다는 장점이 있기 때문에 많은 연구가 있어 왔다.⁽¹⁻⁴⁾ 본 논문에서는 음향광학 대역투과 필터 (acousto-optic tunable bandpass filter, AOTBF)와 광섬유 흡수 격자를 사용하는 선형공진기 형태의 파장가변 단일 주파수 광섬유 레이저에 대해서 제안하고 구현하였다.

그림 1은 레이저 공진기의 구성도이다. 이득매질로는 400 wt. ppm의 어븀첨가 광섬유 (4.5 m)를 사용했으며, WDM coupler (1550/980 nm)를 이용해서 980 nm LD로 펌핑했다. 공진기 양쪽 거울의 반사율은 1.55 μm 파장에서 80% 이상이었다. 또한 레이저의 출력을 위해서 공진기에 tapping coupler (90:10)를 삽입했으며, 레이저의 발진파장을 변화시키기 위해서 AOTBF를 사용했다. 실험에서 사용된 AOTBF는 코어 모드 감쇠기와 음향광학 가변 필터로 이루어진 전광섬유 형태의 대역투과 필터로서 필터의 중심파장과 투과율을 전기적으로 쉽고 빠르게 제어할 수 있다.⁽⁵⁾ 필터의 파장변화 범위는 1508~1594 nm, 3dB 선폭은 3.8 nm, 소광율은 ~14dB, 삽입손실은 ~3dB 정도였다. AOTBF에 인가하는 전압의 주파수를 변화시키면 필터의 중심파장이 변화하게 되고, 그에 따라 레이저의 발진파장이 변화하게 된다. 또 레이저를 단일 주파수로 발진시키기 위해서 펌핑되지 않는 80 wt. ppm의 어븀첨가 광섬유 (7.6 m)를 포화흡수체로 사용했다. 공진기의 한쪽 끝에 위치한 포화흡수체에서는 spatial hole burning 효과에 의해서 흡수격자가 생성되며, 이 흡수격자는 선폭이 가는 필터의 역할을 하게되어 레이저가 단일 종모드로 동작하게 하며, 또한 모드 호핑을 억제한다.⁽⁶⁾ 이득매질에도 역시 같은 원리로 이득격자가 형성되는데 단일모드 동작을 위해서는 공진기의 다른 한쪽 끝에 위치시키는 것이 유리하다. 공진기의 나머지 부분은 단일모드 광섬유로 구성하였으며, 전체 길이는 19.3 m였다.

그림 2는 레이저의 출력을 ring resonator (free spectral range = 70 MHz)를 사용해서 관측한 스펙트럼이다. 레이저가 단일 종모드로 발진함을 확인할 수 있다. 이때 레이저의 발진파장은 1537.5 nm였으며, 출력세기는 56 μW 였다. 또한 인접 모드 억제율 (side mode suppression ratio)는 -55dB 이하였다. 그림 3은 AOTBF에 인가하는 전압의 주파수를 변화시키면서 레이저의 발진파장을 측정된 결과이다. 발진파장은 필터의 중심파장의 변화와 일치했으며, 파장변화율은 -214.6 pm/kHz였다. 파장변화 범위는 1522~1547 nm로 25 nm 이었으며, 이는 공진기의 손실과 어븀첨가 광섬유의 이득에 의해서 제한되었다. 펌핑세기를 증가시키면 단일 종모드로 동작하던 레이저의 발진 모드 개수가 점점 증가했다.

앞으로 AOTBF와 공진기의 손실을 줄여서 파장가변 영역을 늘리고, 보다 넓은 펄핑세기 영역에서 단일 주파수로 동작시키기 위해서 포화흡수체와 이득매질의 길이와 어븀첨가 농도를 최적화 시키는 연구가 필요하다.

[참고문헌]

1. L. Reekie, R. J. Mears, S. B. Poole, and D. N. Payne, "Tunable single-mode fiber lasers", J. Lightwave Technol., 4, 956-960 (1986).
2. S. L. Gilbert, "Frequency stabilization of a tunable erbium-doped fiber laser", Opt. Lett., 16, 150-152 (1991).
3. G. A. Ball and W. W. Morey, "Continuously tunable single-mode erbium fiber laser", Opt. Lett., 17, 420-422 (1992).
4. H. Sabert and R. Ulrich, "Continuously tunable ring laser with nonreciprocal frequency shifters", Opt. Lett., 18, 873-875 (1993).
5. 이명수, 황인각, 김병운, "음향광학 파장가변 대역투과 필터", 한국광학회 2000년도 하계학술발표회, 경상대학교(진주), 146-147 (2000. 8. 17-18).
6. H. S. Kim, S. K. Kim, and B. Y. Kim, "Longitudinal mode control in few-mode erbium-doped fiber laser", Opt. Lett., 21, 1144-1146 (1996).

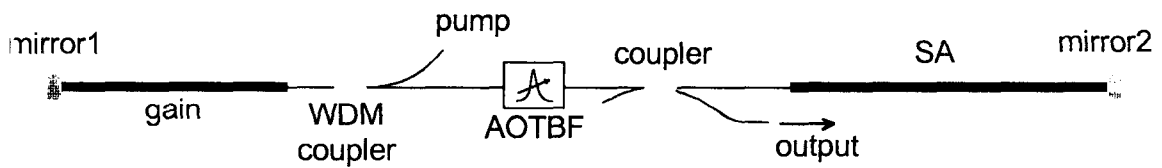


그림 1. 레이저 공진기 구성도 (gain; 400 wt. ppm EDF (4.5 m), SA; saturable absorber 80 wt. ppm EDF (7.6 m), AOTBF; acousto-optic tunable bandpass filter, pump; 980 nm LD, mirror 1, 2; > 80 %).

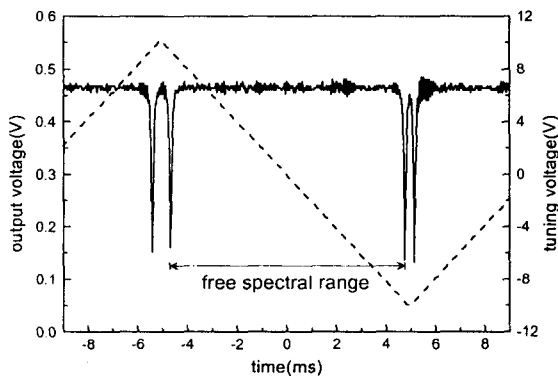


그림 2. Ring resonator로 관측한 레이저 모드 스펙트럼.

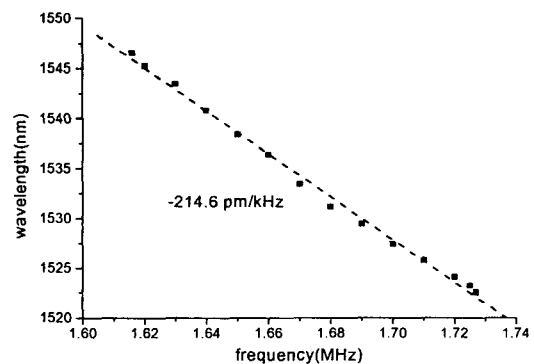


그림 3. AOTBF에 걸어주는 전압의 주파수에 따른 레이저 발진 파장.