

Four-wave mixing 효과를 이용한 가변 다파장 광섬유 레이저

Tunable multiwavelength Erbium-doped fiber laser based on four-wave mixing effect

한영근, 이주한, 이상배

한국과학기술연구원 광기술연구센터

email : yyghan@kist.re.kr

고화질 TV, 인터넷, 동영상 등 데이터 전송이 급격히 증가함에 따라 파장 분할 방식 (Wavelength Division Multiplexing system)의 통신 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대용량의 데이터를 효과적으로 전송하기 위해 다파장 레이저 광원에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다 [1-3]. 다파장 광섬유 레이저는 다파장 출력, 간단한 구조, 저가 및 저손실 등의 많은 장점으로 인해 WDM 통신 방식뿐만 아니라 광섬유 센서, 광기기 검사 등 많은 부분에서 높은 활용성이 제안되고 있다. 일반적으로 다파장 광섬유 레이저를 제조하기 위해서 사용되는 것은 어븀 첨가 광섬유[1-4], 반도체 광증폭기[5], 라만 증폭기[6-7] 등으로 반도체 증폭기와 라만 증폭기는 inhomogeneous 이득 매개체이므로 상온에서 다파장 광섬유 레이저를 발진할 수 있으나 어븀 첨가 광섬유 증폭기는 homogeneous 이득 매개체이므로 상온에서 다파장 레이저 발진이 어렵다. 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 homogeneous line broadening 효과를 억제하기 위해서는 일반적으로 액화 질소나 주파수 변환기를 이용하여 효과적인 다파장 레이저 광원으로 활용성이 연구되고 있다 [1-2]. 최근에는 포토닉 크리스탈 광섬유의 four-wave mixing 효과를 이용하여 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 homogeneous line broadening 효과를 억제하고 광섬유 격자를 이용하여 다파장 광섬유 레이저를 구현한 연구 결과가 보고되었다. 하지만 다파장 광섬유 레이저의 기능성인 레이저 발진 파장 및 파장 간격에 대한 가변성은 제시하지 못했다. 본 논문에서는 분산 천이 광섬유의 four-wave mixing 효과를 이용하여 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 homogeneous line broadening 효과를 억제하고 기능성 Lyot-Sagnac 필터를 이용하여 다파장 광섬유 레이저 출력을 구현하고 한다. 그리고 레이저의 발진 파장과 파장 간격이 효과적으로 조절되는 기능성 다파장 광섬유 레이저에 대해서 논의하고자 한다.

그림1에서는 기능성 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저에 대한 실험 구성도를 나타낸다. 두 개의 임의의 광자 주파수(ω_i 와 ω_{i+1})에서 두 광자(P_i 와 P_{i+1}) 사이의 power 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_i - \Delta P_{i+1} = \delta \left(\frac{\omega_i}{\omega_{i+1}} P_{i+1} - \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} P_i + 2(P_{i+1} - P_i) \right) \approx \delta (P_{i+1} - P_i) \quad (1)$$

여기서 δ 는 four-wave mixing 효율을 나타낸다. (1)은 self-stability function과 같은 기능으로 $P_{i+1} > P_i$ 인 경우에는 power 변화가 양수가 되므로 ω_{i+1} 의 에너지가 ω_i 의 에너지로 변환된다. 반대의 경우($P_{i+1} < P_i$)를 생각해 보면 power 변화가 음수이므로 ω_i 의 에너지가 ω_{i+1} 의 에너지로 변환된다. 따라서 이러한 에너지 변화에 의한 효과는 주파수 변환기처럼 spectral domain에서 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 gain competition 효과를 억제하며 다파장 필터인 Lyot-Sagnac 필터를 통해서 상온에서 안정된 다파장 발진을 가능하게 한다. 그림2에서 상온에서 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저의 출력을 나타내며 편광 조절기(PC, $\lambda/2$ -plate)에 의해서 Lyot-Sagnac 필터의 유효 길이를 조절함으로써 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저의 파장 간격이 조절됨을 나타내고 있다 [5]. 그림 3(a)에서는 편광 조절기($\lambda/4$ -plate)를 조절하여 다파장 어

빔 첨가 광섬유 레이저의 위상을 변화시켜 발진 파장이 조절됨을 나타내고 있다. 그림 3(b)에서는 각도에 따른 발진 파장 이동을 정리한 결과를 나타낸다.

결론적으로 분산 천이 광섬유의 four-wave mixing 효과를 이용하여 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 homogeneous line broadening 효과를 억제하고 기능성 다파장 필터인 Lyot-Sagnac 필터를 이용하여 다파장 레이저 발진 파장과 파장 간격이 효과적으로 조절 가능한 기능성 가변 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저에 대해서 연구하였다.

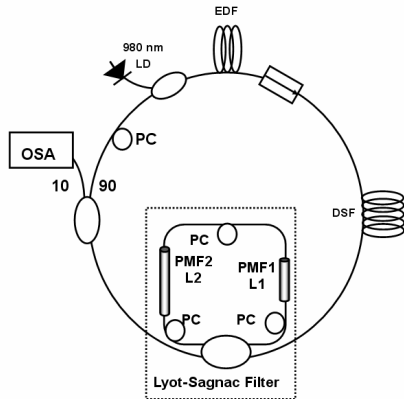


그림 1. 기능성 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저의 실험 구성도.

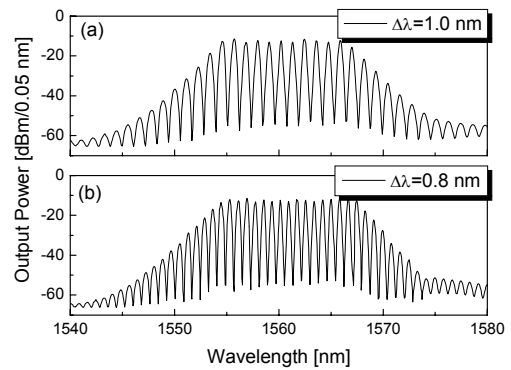


그림 2. 파장 간격 조절 가능한 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저의 출력 스펙트럼.

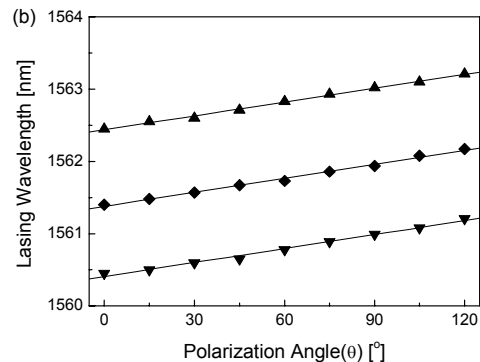
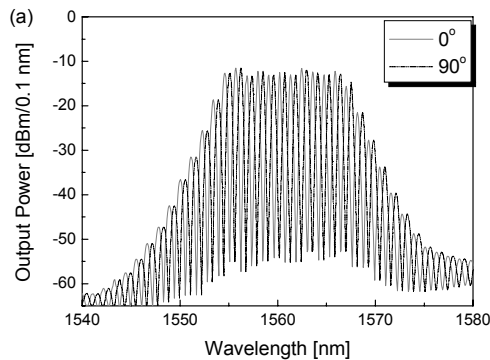


그림 3. (a) 발진 파장 조절이 가능한 다파장 어븀 첨가 광섬유 레이저 출력 스펙트럼. (b) 편광각에 의한 발진 파장 이동.

참고문헌

1. N. Park *et al.*, IEEE Photonics. Technol. Lett., vol. 8, pp. 1459-1461, 1996.
2. A. Bellemare *et al.*, J. Lightwave Technol., vol. 18, pp. 825-831, 2000.
3. D. N. Wang *et al.*, Opt. Commun., vol. 228, pp. 295-301, 2003.
4. X. Liu *et al.*, IEEE Photonics. Technol. Lett., vol. 17, pp. 1626-1628, 2005.
5. Y. G. Han *et al.*, IEEE Photonics. Technol. Lett., vol. 17, pp. 989-991, 2005.
6. Y. G. Han *et al.*, IEEE Photonics. Technol. Lett., vol. 15, pp. 383-385, 2003.
7. Y. G. Han *et al.*, Opt. Lett., vol. 30, pp. 1282-1284, 2005.