비대칭 공진기를 이용한 파장 가변형 라만 레이저 광원 생성

A tunable Raman fiber laser with asymmetric laser cavity

임영은*,**, 김한글*, 김동환**, 한수욱**, 박창수*
*광주과학기술원 정보기전공학부, **한국광기술원 광시스템팀, ***두산인프라코어 방산팀
youngeun@gist.ac.kr

We have demonstrated a tunable Raman fiber laser using the combination of broadband CFBG and tunable fiber Bragg grating with the center wavelength 1415㎚, which is tuned by adjusting longitudinal strain in the wavelength range from 1410 to 1420㎚. A total output power of the tunable laser was about 0.9W with 13.8% of laser slope efficiency.

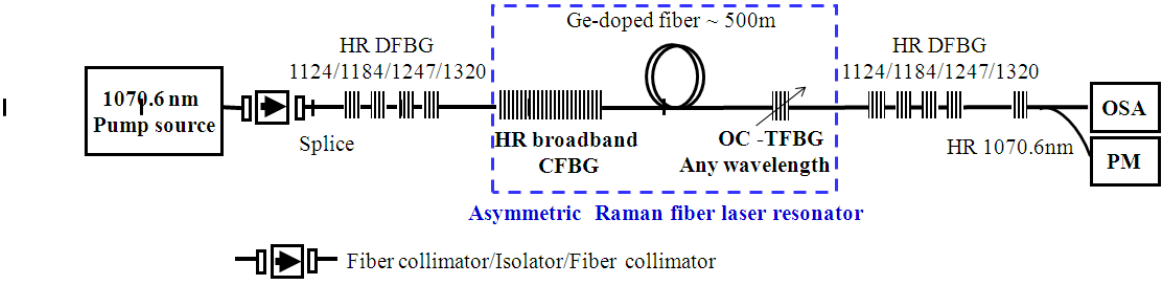
광대역 증폭기의 개발과 아울러 고출력 광섬유 레이저의 개발이 다양하게 이루어지고 있는데.[1,2] 파장 선택이 자유롭다는 장점 때문에 다양한 구조의 광섬유 레이저가 지속적으로 개발되고 있다. 라만 레이저의 출력 파장을 가변하기 위해서는 출력단과 반사단의 파장 가변 가능한 반사체로 이루어져야 한다[2]. 그러한 구조로 레이저를 설계한다면, 제작 비용이 상대적으로 높아진다. 이를 개선하기 위해, 본 논문에서는 비대칭 공진기를 이용하여 파장에 제한 없이 가변 가능한 라만 광섬유 레이저를 구현하고자 한다.

실험 및 결과

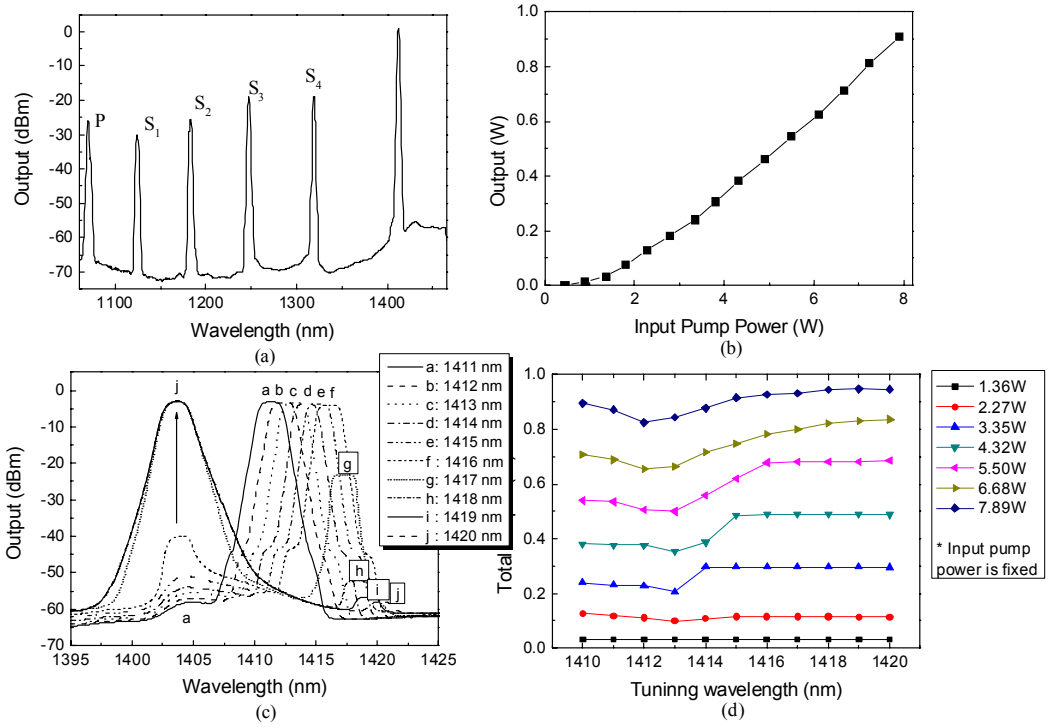
그림 1은 비대칭 레이저 공진기를 이용한 파장 가변라만 광섬유 레이저 발진을 위한 실험 구성도이다. 파장 가변이 가능한 라만 광섬유 비대칭 공진기는 광대역 브라그 격자와 파장 가변 브라그 격자로 이루어져 있다. 반사단의 브라그 격자는 1404 ㎚부터 1465 ㎚ 범위 내에서 99.9% 반사도를 갖는 브라그 격자를 이용하였고, 출력단의 브라그 격자는 1410 ㎚에서 1420 ㎚까지 가변이 가능한 것으로, 45% 반사도를 갖는다. 1410㎚를 시작파장으로 하여 1420㎚까지 가변 하는데, 그림 2 (a)는 파장을 가변하기 전 초기 상태의 레이저 발진 스펙트럼으로 1410㎚ 광원은 입력 펌프 파워 1.36W 에서 발진하기 시작하면서 7.89W에서 출력파워가 약 900mW이고, 입력파워 대 출력파워에 대한 결과는그림 2(b)와 같이 선형적으로 증가하여, 레이저 효율이 약 13.8%인 특성을 보였다. 비대칭 공진기를 응용한 파장 가변형 레이저의 특성을 측정하기 위해 브라그 격자에 응력을 가하여 파장이 가변하도록 하고 그 특성을 측정한 결과는 그림 2(a), (b)에 제시하였다. 그림 2(b)를 살펴보면, 1411㎚ 에서 1415 ㎚까지 가변 시켰을 때의 출력 파워는 점점 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 라만 광섬유의 라만 이득 계수와의 상관관계에 의한 것으로 볼 수 있다. 출력파워의 변화는그림 2(b)에 제시하였다. 주목할 점은 1415㎚ 에서 1416㎚ 가변시점에서 1403㎚ 근처의 빔이 생성된다는 것이다. 이는 게르마늄 도핑 라만 광섬유 5차 스토크스 중심파장과 거의 일치하는 파장으로, 이득 계수가 최대가 되는 지점(1403㎚)의 발진효율이 이득계수가 낮은 지점(1416㎚)의 발진효율보다 커져 순식간에 에너지의 전이가 이루어진다고 볼 수 있다. 출력단 브라그 격자가 1416㎚ 이상에서는 레이저 발진이 없이 완전히 1403㎚ 근처에 에너지가 집중되는 것을 확인할 수 있다. 그림 2(c) 에서 입력 펌프 파워가 7.89W로 고정되었을 때의 레이저 스펙트럼의 변화를 살펴보았다면, 입력 펌프 파워에 따른 출력파워의 변화가 어떠한 경향을 보이는지 그림 2(d)에 정리하였다. 처음 1410㎚ 레이저가 발진하는 시점을 기준으로 일정량의 입력펌프 값을 변화시켜서 고정시킨 후 파장 가변에 따른 출력파워를 각각 측정한 결과이다. 장파장으로 가변시 출력 파워는 서서히 감소하다 1403㎚ 근처의 광원이 생성되면서 출력파워의 크기가 급격히 증가하다 일정해지는 것을 볼 수 있다. 또한 입력

펌프 파워가 점점 커질수록 초기 레이저의 출력파워와 가변시 변하는 파워의 차이가 점점 줄어드는 것을 볼 수 있는데, 1403㎚ 근처의 빔의 생성과 동시에 파장 가변 레이저의 출력이 유지되는 것을 확인하였다. 1416㎚ 이상 가변 시킬 때, 출력단의 브라그 격자 없이도 5차 스토크스 중심파장이 1403㎚ 라만 광원이 생성됨을 확인 할 수 있는데, 이는 다파장 가변 레이저 설계시 고려해야 할 것이다.

본 논문에서는 비대칭 공진기를 이용해서 비교적 간단하면서 저가로 구현할 수 있는 파장 가변형 단일 파장 라만 레이저를 설계하여 그 특성을 확인하였다.



[그림 1] 비대칭 공진기를 이용한 파장 가변 라만 광섬유 레이저 실험 구성도



[그림 2] (a) 라만 레이저 발진 스펙트럼 (P: 펌프 파장, S_n : GDF의 n차 스토크스 전이 파장) (b) 라만 광섬유 레이저 입력 펌프 대 출력 파워 (c) 입력 펌프 파워 7.89W에서 레이저 파장 가변 스펙트럼 (d) 입력 펌프 파워에 따른 파장 가변 레이저 출력 특성의 변화.

참고문헌

1. C. Headley, "Configurable multiple-wavelength all-fiber laser for efficient stable Raman amplification", OFC 02, Technical Proceeding, TuB1, 8-9(2002)
2. S. Ceirullies, EL Lim, and E. Brinkmeyer., All fiber tunable Raman laser in a combines linear and Sagnac loop configurationOFC 2005, OME11, (2005)