

크래딩 펌핑 방법과 이터븀이 도핑된 이중 클래드 광섬유를 이용한 고출력 광섬유 레이저의 제작

Fabrication of a high-power cladding-pumped ytterbium-doped double-clad fiber laser

노숙영, 백승인, 이병호

서울대학교 전기컴퓨터공학부

byoungcho@snu.ac.kr

최근 고출력 다이오드 레이저의 개발과 펌프광과 광섬유 사이의 다양한 결합 방법이 개발되면서 고출력 광섬유 레이저의 개발이 급속히 이루어지고 있다.⁽¹⁾ 광섬유 레이저는 표면 대 체적비가 우수하기 때문에 열을 쉽게 방출할 수 있어 열특성이 우수하다. 또한 이중 클래드 광섬유를 이용한 광섬유 레이저는 펌프광이 면적이 넓은 클래딩으로 결합되어 진행하면서 흡수되기 때문에 단일모드 다이오드 레이저보다 출력이 우수한 멀티모드 다이오드 레이저를 펌프광으로 사용할 수 있다. 이와 동시에 광섬유 레이저 출력은 단일모드 조건을 만족하는 코어에서 생성되어 진행되기 때문에 회절제한(diffraction-limited)빔을 출력으로 얻을 수 있는 장점이 있다.⁽²⁾ 클래딩으로 진행되는 펌프광은 코어에 도핑된 Yb^{3+} 이온들을 여기시키고 광섬유 양 끝단의 수직 절단면으로 이루어지는 공진기에 의해 다중 반사되며 $\sim 1 \mu\text{m}$ 파장의 레이저 출력을 만든다.

클래딩 펌핑 방법을 이용한 고출력 이중 클래드 광섬유 레이저의 구성도는 그림 1과 같다. Yb^{3+} 이온은 915 nm 주변에서 두 번째 큰 흡수 스펙트럼을 가지기 때문에 중심파장이 915 nm 인 펌프광을 이용할 수 있다. 펌프광을 렌즈를 이용하여 평행 시준한 후 915 nm 에서의 반사율이 99 % 이상인 다이크로익 미러 2개를 이용하여 반사시킨다. 이는 출력빔이 펌프 소스로 반사되어 들어가는 것을 막음으로써 펌프원을 보호하기 위한 것이다. 반사된 펌프광을 다시 렌즈를 이용하여 이터븀이 도핑된 이중 클래드 광섬유로 결합 시킨다. 실험에 사용한 광섬유는 코어의 지름이 9 μm , 클래딩의 지름이 125 μm 이며 클래딩 주변에 클래딩보다 굴절률이 낮은 폴리머를 이용하여 코팅을 함으로써 펌프광이 클래딩을 통해 진행할 수 있도록 한다. 광섬유의 길이는 8 m를 사용하였고, 광섬유 내부에서의 펌프광의 흡수율은 약 1.25 dB/m 이다. 펌프광의 커플링 효율은 약 74 % 였다. 발진이 시작되는 펌프광의 문턱값은 약 0.7 W 였다. 펌프광을 결합시킨 광섬유의 반대편 끝단에서는 흡수되지 못한 펌프광과 레이저광이 함께 관찰된다. 이때 또 하나의 다이크로익 미러를 두어 펌프광은 반사시키고 레이저 출력만을 투과시켜 레이저 출력과 남은 펌프광을 분리하게 된다.

그림 2는 제작된 클래딩 펌핑 광섬유 레이저의 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 광섬유 끝단에서 흡수되지 않고 남아있는 펌프광과 레이저 출력을 볼 수 있다. 출력 레이저의 파장은 1082 nm 이다. 그림 3은 제작된 광섬유 레이저의 출력 특성을 나타낸다. 흡수된 펌프 파워에 대한 광섬유의 양단에서의 레이저 출력 효율은 $\sim 82\%$ 였다. 이 값은 실험에서 사용된 펌프원과 이터븀이 도핑된 광섬유의 특성에 의해 제한되는 양자 제한 (quantum limit) 값에 근접하는 값으로 상당히 좋은 결과라 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 광섬유 레이저가 실제로 구현되는 것을 보였다. 본 실험을 더욱 발전시켜 광섬유의 한쪽 끝에 레이저 출력 파장을 브래그 파장으로 갖는 광섬유 브래그 격자를 새기거나 레이저 출력광에 대한 반사 거울을

두어 레이저 출력을 되먹임시킴으로써 레이저의 발진 문턱값을 낮추고 단일 출력 광섬유 레이저를 구성할 수 있다.

감사의 글

본 실험에서 사용한 광섬유는 영국 싸우쓰햄튼 대학 (University of Southampton) 광전자연구소 (ORC)에서 제작되었다.

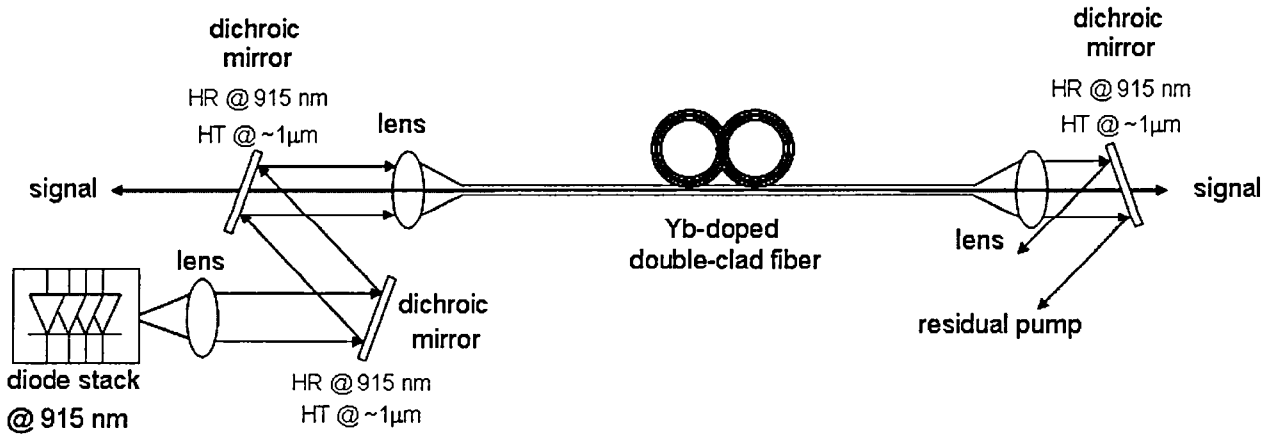


그림 1. 이터븀이 도핑된 이중 클래딩 광섬유를 이용한 클래딩 펌핑 광섬유 레이저의 구성도

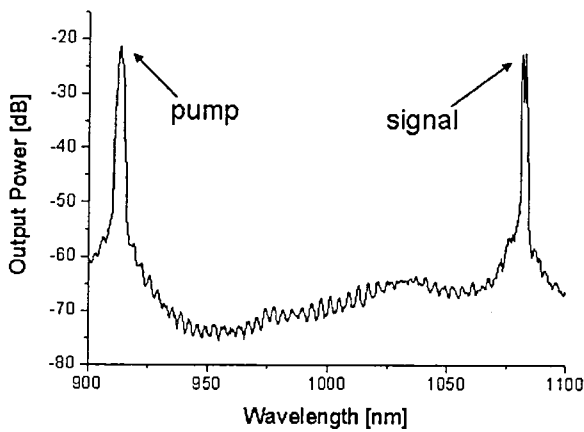


그림 2. 제작된 광섬유의 출력 스펙트럼. 레이저 출력 파장은 1082nm이다.

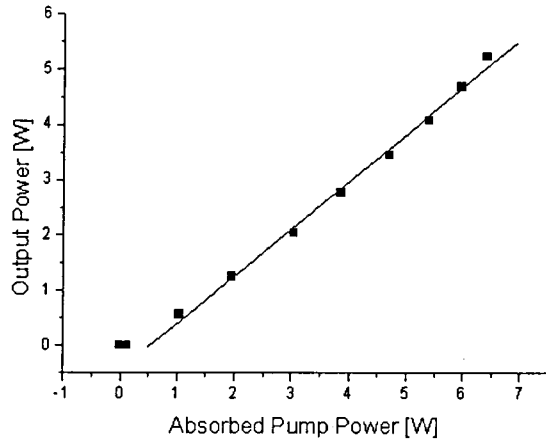


그림 3. 제작된 광섬유 레이저의 출력 특성. 흡수된 펌프 파워에 대한 출력 파워의 효율은 82%였다.

1. J. Nilsson, J. K. Sahu, Y. Jeong, W. A. Clarkson, R. Selvas, A. B. Grudinin, and S. Alam, "High power fiber lasers: new developments," Proc. SPIE, 4974, 50-59 (2003).
2. S. Baek, D. B. S. Soh, Y. Jeong, J. K. Sahu, J. Nilsson, and B. Lee, "A cladding-pumped fiber laser with pump-reflecting inner-cladding bragg grating," IEEE Photon. Technol. Lett., 16, 407-409 (2004).

