

OCT와 OFDR을 위한 고속 파장스 광원

High-speed wavelength-swept source for OCT and OFDR

박도현, 예윤혜
 경희대학교 전자공학과
 yhyh@khu.ac.kr

고속 파장스윕(wavelength-swept) 레이저는 OCT (optical coherence tomography)와 같은 생의학 이미징, OFDR, FBG (fiber Bragg grating) 센서 등에서의 광원으로 중요한 역할이 기대되어 최근 폭발적인 관심을 불러 일으키고 있다.^[1-3] 고속파장가변 레이저 구현에서의 주된 관심은 분해능이 높게 실시간 이미징이 가능한 수준의 파장 변화율을 구현하는데 있다. 요구되는 광원의 선폭은 0.1 nm 내외로서 이러한 광원으로 μm 의 분해능으로 수 mm 깊이의 대한 이미징이 가능하다. 현재 파장 변화율을 최대화하는 경쟁이 가열되고 있으며,^[2-4] 광섬유 결합형 SOA (semiconductor optical amplifier)와 회절격자를 이용하거나 고속 파장가변 필터를 광섬유 링 안에 위치시켜 파장스윕 레이저를 구현하고 있다. 파장스윕 레이저를 구현하기 위한 파장가변소자로는 광섬유 Fabry-Perot(FP) 필터가 속도면에서 유리한 것으로 알려져 있으며, FP 필터를 사용하여 20 kHz의 스윕율을 가진 파장스윕 레이저가 현재까지의 최고 기록으로 알려져 있다.^[4]

최근 파장가변속도가 100 kHz이상인 파장가변 필터가 저자 중 한명에 의해 발표되었다.^[5] 이 필터는 공극을 이루는 거울 중 하나를 오목거울로 대체하여 공극간격을 넓게 유지하면서도 결합손실이 작도록 구현되었으며, 따라서 공극간격의 조정 범위에 충분한 여유가 있으므로 공진점에서의 구동이 가능하다. 또한 공극간격을 변화시키기 위한 소자로 용량이 0.8 μF 인 저용량 압전소자를 사용하며, FSR (free spectral range)를 스캔하는데 필요한 전압이 약 20 V이지만 필터의 공진주파수에서 구동하게 될 경우 수 V_{p-p} 의 전압으로도 FSR (free spectral range)을 100% 스캔하는 것이 가능하다. 그림 1은 파장 1550 nm인 DFB레이저의 출력을 파장가변 필터의 입력으로 하고, 파장가변필터를 주파수 62.39 kHz, 진폭 3.76 V_{p-p} 인 정현파로 구동하였을 때의 출력파형을 보인 것으로 낮은 전압으로 FSR의 150 % 이상을 스캔하고 있음을 보여주고 있다.

선폭이 좁은 고속 파장스윕 레이저를 구현하기 위한 방법으로는^[4] SLD또는 ASE 광원과 같이 선폭이 넓은 광원을 통과파장선폭이 좁은 파장가변 필터로 필터링하는 “후필터링(post-filtering)” 방법과 파장가변필터를 레이저 공극내에 두는 “공극튜닝(cavity-filtering)” 방법이 사용될 수 있다. 공극튜닝 방법의 경우 스윕속도가 느릴 경우 선폭이 좁으면서 광출력이 센 광원을 구현하는 것이 가능한 반면 cavity의 구성에 따라 스윕속도가 제한된다. 후필터링 방법의 경우 선폭과 출력광의 세기는 공극튜닝 방법에 비해 떨어지지만 스윕속도는 파장가변필터의 동작속도에만 좌우되므로 스윕속도를 크게하는 것이 가능하다. 또한 파장가변 필터의 출력단에 booster용 SOA 증폭기를 두어 광출력을 증폭하는 것이 가능하며, finesse가 큰 파장가변 필터를 선택하여 목적에 부합한 선폭을 얻는 것도 가능하므로 스윕속도를 최우선으로 하는 응용에는 후필터링형의 파장 스윕레이저가 사용될 것으로 판단된다.

그림 2는 후필터링 고속 파장스윕 레이저의 구성을 보인 것으로 광원으로는 그림 3의 스펙트럼을 가진 ASE 광원을 사용하였으며, 이번 실험에서 booster용 SOA 증폭기는 사용하지 않았다. 그림 2에서 TF는 PZT형 파장가변 필터(LambdaQuest, 모델 P101)로서 FSR 스캔전압, 삽입손실, FSR, finesse는 각각 20 V, 2.0 dB, 52 nm, 500이다. 출력광의 스펙트럼폭은 0.1 nm로서 파장가변 필터를 피크간 전압이 3.56 V이고, 주파수가 65.96 kHz 인 신호로 구동하였을 때 고속 파장스윕 레이저의 출력은 그림 4와 같으며, 구동파형에 대해 좌우대칭인 스펙트

럼을 확인할 수 있다. 그림 2의 구성에서 ASE광원으로 1300 nm SOA를 사용하고, TF를 1300 nm용으로 교체 하면 OCT용 파장 스윙 레이저로 동작될 수 있으며, 본 팀에서는 레이저 파장을 1300 nm 영역으로 바꾸기 위한 준비와 효율적인 OCT 신호처리기의 구현 방법에 대한 연구를 진행하고 있다.

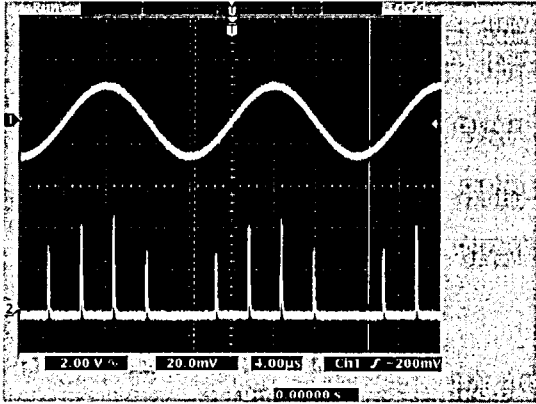


그림 1. 파장가변 필터의 구동파형(위)과 필터의 출력(아래).

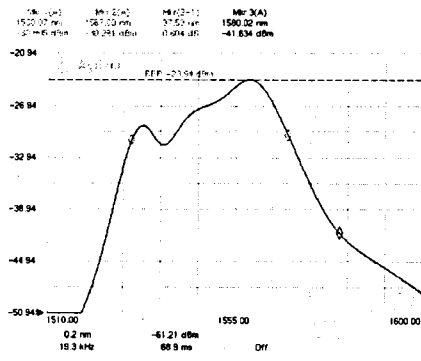


그림 3. ASE 광원의 스펙트럼.

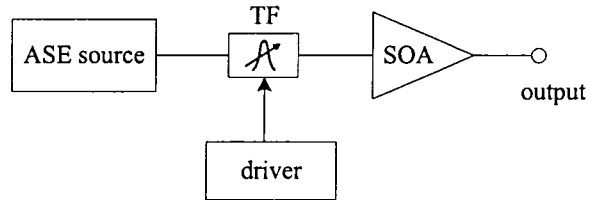


그림 2. 고속 파장스윙 레이저의 구성. SOA ; booster amplifier, TF ; 파장가변 필터.

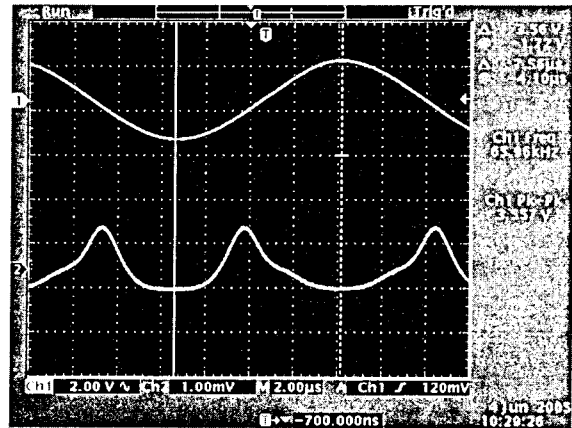


그림 4. 고속 파장스윙 레이저 출력광의 스펙트럼.

참고문헌

1. S. R. Chinn and E. A. Swanson, "Optical coherence tomography using a frequency-tunable optical source," *Opt. Lett.*, 22(5), 340-342 (1997).
2. S. H. Yun, C. Boudoux, M. C. Pierce, J. F. de Boer, G. J. Tearney and B. E. Boum, "Extended-cavity semiconductor wavelength-swept laser for biomedical imaging, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 16(1), 293-295 (2004).
3. S. H. Yun, C. Boudoux, G. J. Tearney and B. E. Bouma, "High-speed wavelength-swept semiconductor laser with a polygon-scanner-based wavelength filter," *Opt. Lett.*, 28(20), 1981-1983 (2003).
4. R. Huber, M. Wojtkowski, K. Taira, and J. G. Fujimoto, "Amplified, frequency swept lasers for frequency domain reflectometry and OCT imaging: design and scaling principles," *Optics Express*, 13(9), 3513-3528 (2005).
5. Y. Yeh, A. Choi, H. F. Taylor, "A high-speed tunable filter using a concave fiber mirror," *OFC/NFOEC 2005*, paper # JWA23 (2005).

T
E