

다파장 광섬유 격자 레이저의 편광 제어 파장밴드 스위칭

論 文

56-12-25

Polarization-Controlled Waveband Switching in a Multiwavelength Fiber Bragg Grating Laser

李 鎔 旭[†]
(Lee Yong Wook)

Abstract - Based on a semiconductor optical amplifier and sampled fiber Bragg gratings, polarization-controlled waveband switching in multiwavelength fiber laser is successfully demonstrated at room temperature by using high polarization selectivity of a polarization beam splitter. A multiwavelength-switching operation between eight and six laser lines with signal to noise ratio over 35 dB and wavelength spacing of ~ 0.8 nm has been successfully demonstrated. The switching displacement of the proposed laser was ~ 7.1 nm. The intensity unevenness between different laser lines was measured to be less than 6.5 dB. The switching displacement between wavebands (groups of contiguous wavelengths), wavelength channels, and their spacings can be flexibly designed by the selected comb filters.

Key Words : fiber laser, fiber grating, waveband switching, semiconductor optical amplifier, light polarization

1. 서 론

정보 전송량의 급속한 증대로 인해 재구성 가능한 (reconfigurable) 광 크로스 컨넥트 (optical cross-connect; 이하 OXC) 를 이용한 파장 라우팅 (wavelength-routed) WDM 네트워크에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라, 채널 (channel) 간의 충돌 (collision) 을 방지하기 위해 발진 파장 스위칭 (lasing wavelength switching) 이 가능한 레이저 (laser) 에 대한 필요성이 커지고 있다 [1,2]. 또한, 규모가 큰 네트워크에서 OXC의 복잡도 (complexity) 를 줄이기 위해 인접한 파장들을 그룹으로 만든 파장밴드 (waveband) 개념을 도입한 두 단계 (stage) 다중화 방식의 계층 OXC (hierachical) OXC 가 제안되면서 [3], 다파장 또는 파장밴드 스위칭 레이저가 추가적으로 필요하게 되었다. 최근 샘플링된 광섬유 브래그 격자 (sampled fiber Bragg grating; 이하 SFBG) 를 사용하여 새롭게 정의된 파장밴드를 기반으로 하는 다파장 스위칭 가능한 광섬유 레이저가 보고되었다 [4]. 그러나, 보고된 광섬유 레이저는 파장밴드간의 스위칭 간격이 0.4 nm로 고정되어 있고, SFBG의 특성상 (반사 파장의 수와 반사율간의 상보관계) 레이저 세기를 유지시키며 채널수를 증가시키는 데에 한계가 있다.

본 논문에서는 파장밴드간의 스위칭 간격과 출력 파장의 수를 자유롭게 조절할 수 있는, 편광 제어 (polarization control) 를 통한 파장밴드 스위칭이 가능한 광섬유 고리형 레이저 (fiber ring laser) 를 제안한다. 제안된 광섬유 레이저는 반도체 광 증폭기 (semiconductor optical amplifier) 를

이득 물질 (gain medium) 로, SFBG를 레이저의 파장밴드를 결정하는 파장 선택성 빗살 필터 (comb filter) 로 각각 사용하였다. 그리고, 편광 빔 분배기 (polarization beam splitter; 이하 PBS) 를 레이저 공동 (laser cavity) 내에 연결하고, 공동 내부를 진행하는 빛의 편광상태 (polarization state) 를 회전 가능한 선형 편광기 (rotatable linear polarizer; 이하 RLP) 를 사용하여 제어함으로써 파장밴드 스위칭을 구현하였다. 제안된 스위칭 방법을 통하여, 8개의 발진 파장으로 구성된 파장밴드와 6개의 발진 파장으로 구성된 파장밴드 간의 다파장 스위칭을 상온에서 성공적으로 수행하였으며, 다파장 스위칭 간격은 ~ 7.1 nm이었다. 각각의 파장밴드에서 레이저 출력은 35 dB 이상의 신호 대 잡음 비 (signal to noise ratio; 이하 SNR) 를 가졌고, 파장밴드 내의 발진 파장들은 ~ 0.8 nm의 파장 간격을 가지고 있었다.

2. 동작 원리

그림 1은 제안된 파장밴드 스위칭이 가능한 광섬유 레이저의 구조를 나타내고 있다. 파장밴드 스위칭은 PBS의 높은 편광 선택성을 이용하여 수행되었으며, 스위칭 원리는 다음과 같다. RLP를 이용하여, 입력 광이 PBS의 수평 편광 방향 축으로 입사되면, 입사된 빛은 PBS의 두 출력단으로 갈라지게 되고, 수평 편광 출력단을 진행하는 빛은 삽입 손실을 거의 겪지 않지만, 수직 편광 출력단을 진행하는 빛은 30 dB 이상의 삽입 손실을 느끼게 된다. 만약, 입력 광이 PBS의 수직 편광 방향 축으로 입사된다면, 이와는 반대로 수직 편광 출력단을 진행하는 빛은 삽입 손실을 거의 겪지 않게 된다. 따라서, 제안된 레이저에서는 레이저 공동을 진행하는 빛의 편광 상태를 조절함으로써, PBS의 각 출력단으로 나오는 빛의 세기를 조절할 수 있다. 만약 SFBG1이 연결되어

[†] 교신저자 : 韓國電子通信研究員 先任研究員

E-mail : dorawoot@chol.com

接受日字 : 2007年 8月 8日

最終完了 : 2007年 9月 10日

있는 출력단으로 나오는 빛의 감쇄가 크도록 RLP를 조절한다면, SFBG1에 의해 반사되는 브래그 파장 성분들의 세기가 감소하게 되고, 주로 SFBG2에 의해 반사되는 브래그 파장 성분들이 레이저 공동에서 반사 거울 역할을 하게 될 것이다. (여기서 레이저 발진 파장을 결정하게 되는 파장 성분들을 장파장밴드라 부르기로 한다.) 이와 달리, SFBG2가 연결되어 있는 출력단으로 나오는 빛의 감쇄가 크도록 RLP를 조절한다면, SFBG1에 의해 선택되는 파장 성분들이 레이저 발진시 발진 파장을 결정하게 될 것이다. (이러한 파장 성분들은 단파장밴드라 부르기로 한다.) 결과적으로, 단파장밴드와 장파장밴드간의 파장밴드 스위칭은, RLP를 조절하여 입력 편광을 PBS의 수직 또는 수평 축에 정렬시켜 줌으로써 이루어질 수 있다.

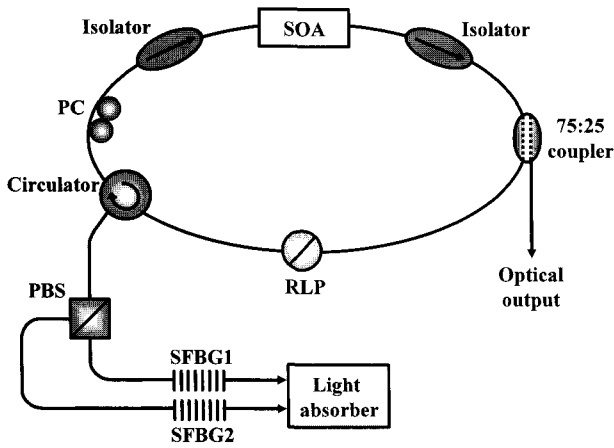


그림 1 제안된 파장밴드 스위칭 가능한 레이저의 모식도
 Fig. 1 Schematic diagram of the proposed waveband-switchable fiber laser

3. 실험 및 논의

제안된 광섬유 레이저는 반도체 광 증폭기 (Alcatel A1921), 광 고립기 (optical isolator), RLP, 광 순환기 (optical circulator), 두 개의 SFBG, PBS, 75:25 광 커플러 (optical coupler), 그리고, 두 개의 파장판 (waveplate) 으로 구성된 편광 조절기 (polarization controller; 이하 PC) 로 구성되었다. 고리형 레이저 공동은 단방향 공동이며, 공동을 순환하는 빛은 광 고립기와 광 순환기에 의해 단방향으로 순환하게 된다. 반도체 광 증폭기는 제안된 레이저의 능동부를 구성하며, 그 외의 광 부품들은 수동부를 구성하게 된다. RLP는 광 순환기의 첫째 단으로 입력되는 빛의 편광을 조절하기 위해 사용되며, 광순환기의 두번째 단으로 출력되는 빛은 PBS로 입력된다. SFBG1 과 SFBG2는 PBS의 두 출력단 (수평축 출력과 수직축 출력) 각각에 연결되어 있고, 두 SFBG는 선택된 파장 성분만이 레이저 공동을 순환하도록 만드는 반사 거울의 역할을 하게 된다. 이 SFBG들은 위상 마스크 (phase mask) 를 이용하여, 아르곤 이온 (Ar ion) 레이저 빔을 수소처리 (hydrogen loading) 된 단일 모드 광섬유에 스캐닝 (scanning) 법으로 조사함으로써 제작되었다. SFBG1 (단파장밴드 영역을 결정) 과 SFBG2 (장파장밴드 영역을 결정) 는 모두 16 개 이상의 파장 채널을 반

사시키는 스펙트럼 특성을 가졌으며, 반사되는 채널 중 중심 부분 각각 8개, 6개 채널의 반사율은 30% 이상이었다. 샘플링 (sampling) 주기는 각 파장밴드에서의 채널 간격이 0.8 nm (100 GHz @1550 nm: WDM ITU-grid spacing) 가 되도록 결정되었다. 그리고, PC는 레이저 공동 내의 전체 이득 특성을 조절하기 위해 사용되었으며, 레이저 출력은 75:25 광섬유 커플러를 통하여 25 %가 출력되도록 하였다.

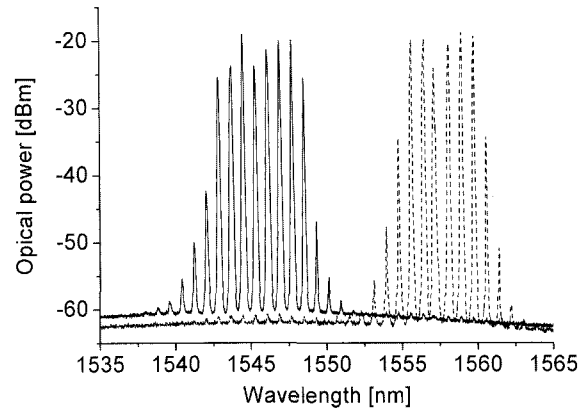


그림 2 편광 제어를 통한 파장 밴드 스위칭
 Fig. 2 Polarization-controlled waveband switching

그림 2는 반도체 광 증폭기가 170 mA의 주입 전류로 구동될 때, 연속파 (continuous wave) 로 동작하는 제안된 레이저의 파장밴드 스위칭을 보여주고 있다. 실선과 점선은 레이저 공동을 진행하는 빛의 편광이 각각 PBS의 수평축 (SFBG 1의 반사와 관련) 과 수직축 (SFBG 2의 반사와 관련) 으로 정렬되었을 때의 레이저 스펙트럼 (spectrum) 을 나타내고 있다. 각각의 파장밴드 (단파장밴드 및 장파장밴드) 에서 8개, 6개 발진 파장의 레이저 출력이 35 dB이상의 SNR을 가지고 발진하고 있으며, 각각의 파장밴드는 레이저 공동 내부를 진행하는 빛이 각각 PBS의 수평축과 수직축으로 입사되는 편광으로 정렬되었을 때 얻을 수 있었다. 이는 파장밴드 스위칭이 레이저 공동 내부를 진행하는 빛의 편광 상태를 조절함으로써 이루어질 수 있다는 것을 보여준다. 서로 다른 발진 파장의 레이저 출력들간의 세기의 차이는 6.5 dB 이하로 측정되었으며, 이러한 출력 세기의 분포는 주로 SFBG의 반사 스펙트럼 특성과 반도체 광 증폭기의 이득 스펙트럼 특성에 의해 주로 결정된다. 특히, 이러한 분포는 레이저 공동 내부에 위치하고 있는 PC에 의해서도 영향을 받는데, 이는 Lyot 필터 (filter) 효과에 기인한다 [5].

각 레이저 출력의 선포는 ~0.1 nm로 측정되었으나, 이는 광 스펙트럼 분석기 (optical spectrum analyzer) 의 분해능 (resolution bandwidth) 에 의해 제한되어 측정된 값이다. 추가적으로 레이저의 안정성을 측정하기 위해, 각각의 파장밴드의 레이저 출력 스펙트럼을 30분 동안씩 연속적으로 측정하였다. 각 파장밴드를 측정할 때, RLP와 PC는 고정된 상태를 유지하였다. 측정을 통해 얻어진 두 파장밴드에서의 최대 출력 변화량은 0.3 dB이하였다. 이는 편광 불안정성에 기인한 것으로 생각되며, 이러한 편광 불안정성은 PBS의 두 출력단이나 레이저의 공동에 가해지는 주변 온도의 변화나

기계적인 진동 같은 환경적인 외란에 의해 발생할 수 있다.

제안된 구조에서 주목할 만한 사실은 적절하게 설계된 반사형 필터를 PBS의 두 출력단에 사용함으로써, 파장밴드의 스위칭 간격을 사용자가 원하는 값으로 자유롭게 설계할 수 있다는 것이다. 또한, 동일한 방식으로, 발진되는 레이저 파장 채널의 개수나 채널간의 간격도 자유롭게 결정할 수 있다. 특히, 발진되는 채널의 파장은 사용된 SFBG들에 온도나 스트레인을 가하여 SFBG의 반사 파장을 정밀하게 조절함으로써, WDM ITU-grid에 정확히 일치되도록 조절할 수 있다. 반도체 광 증폭기의 셋업 시간 (setup time) 은 빛이 고리형 레이저의 공동을 왕복하는 시간, 즉 왕복 시간 (round trip time) 에 의해 결정되므로 수 ns 이하로 매우 빠르기 때문에, 레이저의 스위칭 속도는 레이저 공동 내부의 빛의 편광 상태가 변화되는 속도에 의존하게 된다. 본 실험에서는 기계적으로 조절되는 RLP를 사용하였기 때문에 스위칭 속도가 수백 ms에 지나지 않지만, 반응 시간이 수 ns정도인 LiNbO₃ 같은 전기적으로 구동되는 PC를 사용하면 스위칭 속도는 훨씬 향상될 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 반도체 광 증폭기 기반 광섬유 고리형 레이저에서 편광 제어를 통해 파장밴드 스위칭을 구현하였다. 레이저 공동내부의 RLP를 조절하여, 35 dB 이상의 SNR과 0.8 nm 파장 간격을 가진 두 파장밴드 (발진 파장: 8개 및 6개) 의 다파장 스위칭을 상온에서 성공적으로 수행하였다. 특히 제안된 편광 제어 파장밴드 스위칭 기법에서는 스위칭 파장 간격과 발진 파장 및 발진 파장들간 간격이 자유롭게 설계 및 결정될 수 있는 큰 장점을 가진다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 "High Risk High Return Project" 사업의 일환으로 수행하였음.

참 고 문 헌

- [1] D. Zhao, S. Li, and K. T. Chan, "Precise and rapid wavelength-switching of fiber laser using semiconductor optical amplifier," *Electronics Letters*, vol. 37, no. 15, pp. 945-946, July 2001.
- [2] Y. W. Lee and B. Lee, "Wavelength-switchable erbium-doped fiber ring laser using spectral polarization-dependent loss element," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 15, no. 6, pp. 795-797, June 2003.
- [3] M. Lee, J. Yu, Y. Kim, C. H. Kang, and J. Park, "Design of hierarchical crossconnect WDM networks employing a two-stage multiplexing scheme of waveband and wavelength," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 1, pp. 166-171, January 2002.
- [4] B.-A. Yu, J. Kwon, S. Chung, S.-W. Seo, and B. Lee, "Multiwavelength-switchable SOA-fiber ring laser using sampled Hi-Bi fiber grating," *Electronics Letters*, vol. 39, no. 8, pp. 649-650, April 2003.
- [5] W. Demtroder, *Laser Spectroscopy*, Springer, Berlin, pp. 178-182, 1982.
- [6] F. Heismann and M. S. Whalen, "Broadband reset-free automatic polarization controller," *Electronics Letters*, vol. 27, no. 4, pp. 377-379, February 1991.