

단주기 광섬유 격자가 새겨진 비선형 광섬유를 이용한 전광식 가변형 광감쇠기 개발

Development of All-optical Variable Optical Attenuator Using a Nonlinear Optical Fiber with Fiber Bragg Grating

주성민, Pramod R. Watekar, 이수남*, 김기수**, 한원택

광주과학기술원 정보통신공학과, *(주) 옵토네스트 광통신 연구소, **홍익대학교 재료공학부
wthn@gist.ac.kr

가변형 광감쇠기(Variable Optical Attenuator, VOA)는 광시스템에서 장거리 전송을 위한 높은 광출력을 수광소자에서 높은 출력으로 인한 예러 방지, 채널 사이의 큰 신호 세기 차이에 따른 검출기의 포화 또는 채널 사이의 신호 누화(Cross-talk) 문제 등으로 인한 전송 신호의 오류 문제를 해결하기 위한 광소자로 많이 사용되고 있다.^(1~5)

기존의 가변형 광감쇠기는 acousto-optic (AO) 방식⁽¹⁾, electro-optic (EO) 방식⁽²⁾, electrochromic 방식⁽³⁾, micro-electro mechanical system (MEMS)과 mechanical ant-reflection switch (MARS) 기술을 이용하는 방식^(4, 5) 등의 방법으로 많은 종류가 개발되어 시판되고 있다. 이러한 기존의 가변형 광감쇠기는 각기 장단점이 있으나, 제작 공정의 어려움, 제품의 고가화, 연속적인 가변 광감쇠치의 재현성 문제 및 응답 속도가 느린 단점이 상존하고 있다.

본 연구에서는 펌프광의 세기를 조절하여 광감쇠치를 조정할 수 있는 전광식(All-optical) 가변형 광감쇠기를 제안하였다. 펌핑하는 광세기에 따라 광섬유의 굴절률과 투과 특성이 변하는 비선형 광섬유를 이용하여 조절기능을 부여하였고, 이 비선형 광섬유에 단주기 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 새겨 광감쇠 기능을 발현하도록 하였다. 본 전광식 가변형 광감쇠기는 기존의 방식에 비해 빠른 응답 특성을 가지며, 입력광의 일부가 클래딩 모드와 결합하거나 반사하여 광손실을 발생시키는 단주기 광섬유 격자를 이용하기 때문에 광감쇠치의 신뢰성 및 경제적인 면에서 우수하다.

큰 비선형 광학계수 및 빠른 응답 특성을 가지는 비선형 광섬유를 변형된 용액 첨가법(Modified Solution Doping Method)과 MCVD(Modified chemical Vapour Deposition)공정을 이용하여 제조하였다. 광섬유의 코어에 Yb³⁺/Al³⁺이 첨가된 비선형 광섬유는 DT(Draw Tower)를 통해 2000℃의 고온에서 인출 되었으며, 광섬유 코어 직경은 약 4.6μm이고 차단 파장은 1.05μm였다. 광섬유의 코어영역에 단주기 격자를 형성하기 위해 먼저 수소가스 분위기에서 비선형 광섬유를 10Mpa의 압력과 100℃의 온도에서 120시간 동안 유지시켜 광민감성을 부여하였다. 다음 1550nm 부근의 파장에서 광감쇠치가 최대 약 10dB가 되도록 phase mask를 이용하여 KrF Excimer Laser (λ=248nm)를 광섬유에 조사하여 격자의 길이(d)가 1cm이며, 반가폭이 약 0.35nm인 단주기 광섬유 격자를 형성하였다. 격자의 형성 후 광섬유를 150℃에서 24시간 동안 어닐링 처리를 하여 광민감성 증대를 위해 광섬유 코어로 확산 유입된 수소를 제거하였다.

광섬유의 비선형 광특성과 단주기 광섬유 격자의 특성을 이용한 전광식 가변형 광감쇠기는 Fig. 1과 같이 구현하였으며, 단주기 격자가 새겨진 비선형 광섬유의 양단에는 WDM coupler를 융착하여 ASE source와 펌핑 광원(LD at 980nm)으로 결합하였다. 다음 LD의 펌프광 세기(0mW ~ 116mW)를 달리하며 1550nm 파장 부근에서의 광 감쇠치의 변화를 OSA로 측정하였다.

LD 펌프광의 세기에 따른 비선형 광섬유의 투과 스펙트럼의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 1550nm 파장영역에서의 투과율의 급격한 감소는 단주기 격자 특성에 의한 것이며, 중심파장에서 최대 13dB의 반사치를 나타내었다. LD 펌프광의 세기가 증가 할수록 단주기 광섬유 격자에 의해 형성된 공진 파장의 투과 스펙트럼이 장파장 쪽으로 이동하였다. LD 펌핑 전·후에 대한 공진 파장의 이동은 0mW일때 1550.83nm에서 116mW일때 1550.93nm로 최대 0.1nm 이동하였으며, LD 펌프 광세기의 증가에 따른 공진 파장의 반가폭은 0.19nm로 일정하게 유지되었다.

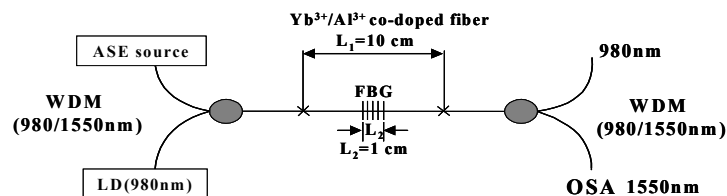


Fig. 1. Schematic diagram of all-optical variable optical attenuator

Fig. 3 은 각 파장에 대한 파장별 공진 파장의 이동에 따른 광감쇠치를 나타낸 것으로 펌프 광세기에 따라 광감쇠치가 변함을 알 수 있다. 각 파장별 광감쇠치가 다르기 때문에 다양한 파장 영역에서의 활용 또한 가능함을 알 수 있다. 즉, 제작된 가변형 광감쇠기의 사용 범위는 선택된 파장에 따라 달라지며, 광감쇠치의 크기도 비선형 광섬유에 새겨진 공진 파장의 중심파장($\lambda=1550.83\text{nm}$)을 기준으로 하여 펌프 광세기에 따라 달라진다. 비선형 광섬유에 새겨진 공진 파장의 중심파장($\lambda=1550.83\text{nm}$)을 기준으로 단파장 영역에서는 펌프 광세기가 증가함에 따라 광감쇠치가 감소하는 반면에 장파장 영역인 1550.93nm 파장 이상에서는 펌프 광세기가 증가함에 따라 광감쇠치가 증가한다.

또한 LD 펌프광 세기에 따라 광감쇠치의 가변과 함께 파장 가변도 가능함을 알 수 있다. 본 연구에서 제작된 가변형 광감쇠기의 파장별 사용범위는 비선형 광섬유에 새겨진 공진 파장의 중심파장인 1550.83nm 파장에서는 최대 -13.42dB 에서 최소 -7.31dB 로 광 감쇠치의 가변 범위는 6.11dB 였고, 1550.93nm 파장에서는 최대 -13.91dB 에서 최소 -5.96dB 로 광 감쇠치의 가변 범위는 7.95dB 였다.

이러한 LD 펌프광 세기에 따른 광감쇠치의 가변성은 비선형 광섬유의 굴절률 증가에 기인한 것이며, 광세기가 증가함에 따라 굴절률의 변화가 증가하기 때문이다.⁽⁶⁾ 따라서 비선형 광섬유의 굴절률 변화와 단주기 광섬유 격자를 통해 형성된 공진 파장에서의 광감쇠는 가변형 광감쇠기의 전광화 및 빠른 응답 특성, 연속적인 광감쇠치의 가변으로 재현성을 확보할 수 있다. 또한 기존의 가변형 광감쇠기에 비해 제작 공정의 단순화 및 제품의 저가화를 구현할 수 있다.

본 연구에서 제안된 단주기 광섬유 격자가 형성된 비선형 광섬유를 이용한 가변형 광감쇠기는 단주기 광섬유 격자에 의해 형성되는 공진 파장 반가폭의 변화와 비선형 광섬유 자체의 비선형성을 증대하거나 외부 LD 펌핑 파워를 높여 파장영역의 변화와 광감쇠치의 변화를 함께 이룩할 수 있다. 그러나 비선형 광섬유 제작에서 광섬유 코어 영역에 존재하는 도핑 물질의 포화 농도 문제로 광섬유 자체의 비선형 형성 증대에는 한계가 있고, LD 펌프광 세기를 증대시켜 비선형성을 증대시키기 위해서는 고가의 LD가 필요하다. 이에 대한 해결책으로는 외부 LD 펌핑에 의해 장파장으로 이동되는 공진 파장의 범위 보다 작은 범위의 반가폭을 가지는 단주기 광섬유 격자를 형성하는 것이다. 또한 높은 투과 특성을 갖는 단주기 광섬유 격자를 형성하여 0dB 에서 -45dB 이상 사용 가능한 높은 광감쇠치를 갖는 가변형 광감쇠기를 제작할 수 있다.

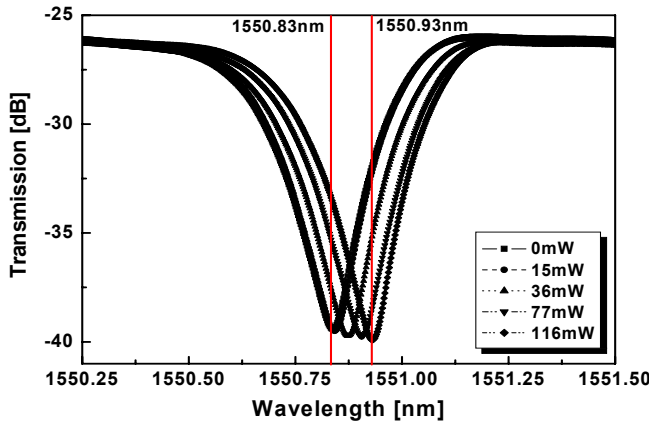


Fig. 2. Shift of the transmission spectrum of the $\text{Yb}^{3+}/\text{Al}^{3+}$ co-doped nonlinear optical fiber with the FBG upon pumping with the LD at 980nm

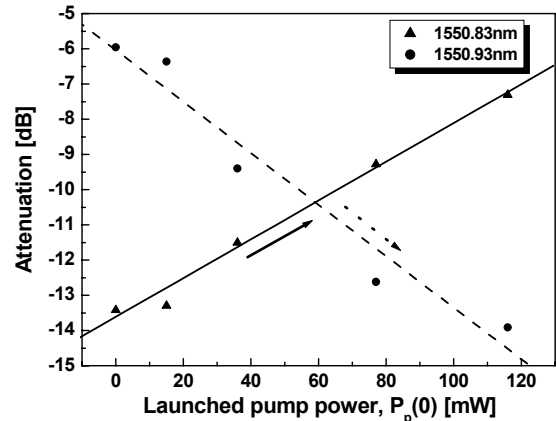


Fig. 3. Pump power dependence of the attenuation at various wavelengths

참고문헌

1. N. A. Riza and Z. Yaqoob, "Submicrosecond Speed Variable Optical Attenuator Using Acoustooptics", *IEEE Photon. Tech. Lett.*, Vol. 13, No. 7, pp. 693-695 (2001).
2. R. A. Soref and D. H. McMahon, "Total switching of unpolarized fiber light with a four-port electro-optic liquid-crystal device", *Opt. Lett.*, Vol. 5, pp. 147-149 (1980).
3. N. A. O'Brien, J. G. H. Mathew, and B. P. Hichwa, "An Electrochromic Variable Optical Attenuator (ECVOA)", in *Optical Fiber Commun. Conf. 1999*, San Diego, California, USA, Technical Digest, pp. PD26 1-3 (1999).
4. B. Barber, C. R. Giles, V. Askyuk, R. Ruel, L. Stulz, and D. Bishop, "A Fiber Connectorized MEMS Variable Optical Attenuator", *IEEE Photo. Tech. Lett.*, Vol. 10, No. 9, pp. 1262-1264 (1998).
5. J. E. Ford, J. A. Walker, and K. W. Goossen, "Fiber-coupled Variable Attenuator Using a MARS modulator", in *SPIE Proc. Microstructures and MEMS for Optical Processing III*, Vol. 3226, pp. 86-93 (1997).
6. Y. H. Kim, U.-C. Paek, and W.-T. Han, "All-optical 2x2 Switching Using Two Independent Yb^{3+} -doped Nonlinear Optical Fibers with a Long-period Fiber Grating Pair", *Appli. Opt.*, Vol. 44, No. 15, pp. 3051-3057 (2004).