

< 초 록 논문 >

라만 증폭특성을 이용한 다양한 응용소자와 고출력 광섬유 레이저 제작 Various optical fiber devices using Raman amplification, and fabrication of high power fiber laser over 3.8 Watt.

서홍석¹, 오경환², 최용규¹, 안준태¹, 김경현¹¹ 한국전자통신연구원 광통신소재연구부² 광주과학기술원 정보통신공학과

Abstract

A method to equalize power imbalance caused by Raman induced cross talk among optical channels is proposed using a lumped germanosilicate fiber Raman amplifier. The gain band of Er-doped fiber amplifier (EDFA) with peak gain at the wavelength of 1530 nm was theoretically flattened by phosphorous Raman medium spliced after EDFA. Variable optical attenuator in a germanium doped fiber using a Stoke shifted pump is theoretically proposed. A new type Yb-doped clad-pumped fiber laser is also fabricated as a good pumping source of Raman amplifier.

I. 서 론.

최근에 라만 증폭기에 대한 연구는 광범위 하게 이루어 지고 있다. 특히 distributed type 라만 광섬유 증폭기는 receiver 단의 sensitivity를 높이고, 전송도중에 일어나는 광신호의 감쇄를 보상하면서 신호의 OSNR (optical signal to noise ratio)을 증가시키는 장점 등으로 인해 다양한 방법의 많은 연구가 이루어 지고 있으며 [1-4], lumped type Raman amplifier의 경우는 dispersion compensation module 과의 결합을 통해 광섬유 내의 분산 보상 및, 손실보상을 동시에 하는 역할을 하고 있다 [5]. 또한 최근에 제시된 논문들 중에는 S, C, L band (120 nm 이상) 전체를 동시에 라만 증폭기로 꾸미려는 시도가 있었으며 [6], L band 를 뛰어넘어 L+band (U band)를 라만 증폭기와 EDFA를 복합 연결하여 Flat gain band를 얻는 연구가 발표되었다[7]. 이와 같이 라만 증폭기는 EDFA와 달리 증폭밴드가 펌프 파장과 관계되기 때문에, 증폭밴드에서 이루어지는 다양한 특성들을 제어할 수 있는 장점이 있다. 예를 들어 파장에 따라 이득이 평탄한 광대역 증폭기를 얻기 위해 다중펌프를 하고, SRS에 의한 채널 tilt 보상[8-9], 파워 조절을 통해 이득대역 평탄화 및, noise figure tilt 보상 [10-11]은 펌프 조절을 통해 가능하다. 이번 논문에서는 라만 증폭기의 다양한 응용 가능성(SRS gain tilt, EDFA gain flattening, Variable optical attenuator)에 대한 연구결과와, 라만 증폭기용 펌프 레이저를 만들기 위해 사용되는 고출력 이중 클래드 광섬유 레이저에 대한 제작과 출력특성에 대

해 고찰한다.

II. 본 론

1. Compensation of Raman crosstalk among channels.

WDM 광 전송시 한 광섬유 내에서 일어나는 현상은 복합적 (SRS, FWM, SPM, XPM, dispersion, loss, and so on)으로 일어난다. 비선형 현상에 의해 생기는 현상중에 SRS에 의해 channel 간의 power 전달로 인해 처음에 균일했던 channels 들이 광섬유를 진행하면서 장파장 쪽으로 기울어 지는 현상이 발생한다. 이러한 현상은 channel tilt 보상을 라만 광 증폭기를 통해 충분히 보상이 가능하다. 다시 말하면 SRS로 일어난 현상을 SRS로 보상한다는 의미이기도 하다. 기본원리는 라만 증폭기 내에서 펌프 파장에서 440cm^{-1} 과 490cm^{-1} 사이에서 라만 gain의 tilt를 이용하는 방법으로 channels의 기울어진 정도를 이 대역의 펌프에 따라 역으로 기울기가 커지는 현상을 이용하여 쉽게 보상이 가능하다 [8]. 그러나 그 밴드 폭이 20 nm 밖에 되지 않기 때문에 만약 전체 channel폭이 40 nm 이상 되면 이와 같은 방법은 무의미 하기 때문에, 두개의 펌프를 써서 채널 보상 밴드 폭을 40 nm 이상 확장하는 것이 중요하고, 결과적으로는 두개의 펌프로 이득 대역을 중첩하여 기울기를 조절하였고, 그 결과 40nm 이상 대역에서 channel 기울기 보상을 가능하게 했다 [9]. 이러한 결과는 SRS에 의한 channel tilt는 전송에 있어서 라만 증폭기를 통해 충분히 보상이 가능하다는 것을 단적으로 보여준다. 최근 결과로는 다중

multiple pump를 이용하여 channel tilt나 gain flattening 기술을 자동으로 제어하는 연구논문이 나왔다 [11].

2. EDFA gain flattening using SRS.

EDFA의 gain flattening 하는 방법은 다양한 방법이 소개되었다. Long period grating과 같은 passive 소자를 이용하는 방법과, Acousto-optic tunable filter, MEMs, semiconductor technology 등과 같은 dynamic gain equalizer 등이 있다. 또 다른 방법으로 이 논문에서 제시하는 방법으로 SRS를 이용하는 방법이다. 기본 원리는 간단하다 [12]. Silica 광섬유 코어에 P_2O_5 가 들어있는 광섬유는 라만 이득 계수가 1320 cm^{-1} 에서 선풍이 7 nm 정도이기 때문에 EDFA의 1530 nm gain peak을 보상하는 것이 가능하다. 즉, 그 광섬유에 광 펌핑을 하여 라만 증폭을 하는 것이 아니라, 펌프와 신호를 바꿔서 라만 광 attenuator를 만드는 것이다. 즉 1530 nm 파장에서 장파장 쪽으로 1320 cm^{-1} 떨어진 곳 (1917 nm) 펌프(신호역할)를 하게 되면 1530 nm의 EDFA의 peak gain 이 줄어들게 되면서 이득 평탄화가 이루어 진다. 그러나 이와 같은 방법은 별로 효과적인 방법은 못 된다. 즉, 1917 nm 파장대역에서 고효율 레이저(Tm-doped double clad fiber laser)를 구하기 어렵다는 점과 펌프의 효율성 면이나, 다른 gain equalize 하는 방법 중에 여러 다른 구도가 많이 제시되었기 때문에 산업적인 측면에서는 좋은 방법은 못되지만 SRS로 라만 광 감쇄기가 될 수 있고, 다른 응용도 가능하다..

3. All optical variable attenuator (Compensation of Raman crosstalk due to the SRS)

앞과 같은 원리를 이용하여 라만 광 감쇄기를 만드는 것이다. Section 2. 에서 P_2O_5 라만 광섬유를 이용하여 EDFA의 gain flattening 을 하는 방법인데, 이번 섹션에서는 일반적으로 사용되는 GeO_2 라만 광섬유(DCF)를 이용하여 신호 파장보다 장파장 쪽으로 440 cm^{-1} 떨어진 곳에 펌핑을 함으로써 라만 광 증폭기 내에서 얻어지는 gain 영역을 flattening 하는 것이 가능하며, SRS에 의해 초기 입력 신호가 전송도중에 기울어지는 현상을 보상하는 것도 가능하다 [13]. 이러한 것은 section 1.에서 설명하는 기울기 보상을 증폭하면서 동시에 보상하는 방법과 달리, 기울기 보상을 감쇄 시키면서 평탄하게 만드는 방법이다. 이방법의 장점은 section 1의 경우와 비교하여 증폭에

다른 ASE가 없다는 장점이 있지만 section 2. 에서와 같이 펌프의 효율성 면에서는 별로 좋은 방법은 아니다.

4. 라만 펌프용 고효율 광섬유 레이저

라만 증폭기에서 펌프의 역할은 매우 중요하고, 펌프의 특성은 바로 라만 이득에 크게 영향을 준다. 라만 펌프레이저는 가능하면 DOP(degree of polarization)이 작아야 한다. 그 이유로는 라만 광 증폭기는 펌프의 polarization에 따라 이득이 달라지기 때문이다. 이러한 점에서 광섬유 레이저는 라만 펌프레이저로서 좋은 광원이다. 최근에 제작한 Yb-doped double clad fiber laser를 소개하면 다음과 같다 [14]. 먼저 펌프 빔은 $700 \mu\text{m}$ core를 갖는 pigtailed fiber를 따라 최대 10 Watt 가 전송되고, 이 광섬유는 $125 \mu\text{m}$ 로 tapering 한 후, $125 \mu\text{m}$ 크기의 광섬유 격자 (99% reflection at 1051 nm)와 융착 접속하였다. 마찬가지로 Yb-doped double clad fiber (rectangular type: 100 by $300 \mu\text{m}^2$)도 $125 \mu\text{m}$ 로 tapering 하여 한쪽이 $700 \mu\text{m}$ pigtailed fiber와 접속된 광섬유 격자의 반대쪽을 융착 접속하여 세개의 서로 다른 광섬유를 연결하였다. 제작된 광섬유 레이저는 10 Watt 펌핑 시 3.8 Watt를 갖고, 82 %의 slope efficiency를 얻었다.

결론으로, 지금까지 라만 증폭특성을 이용한 다양한 응용 소자를 살펴 보았고, 전체적인 라만 증폭기용 펌프레이저를 꾸미기 위해 광섬유레이저를 제작하였으며, 좀더 나아가 라만 광섬유 공진기를 구성하여 라만 증폭기용 펌프로 제작된 광섬유 레이저를 활용할 계획이다.

참고문헌:

1. J. -C. Bouteiller *et al.*, OFC 2002, PD. **FB3**
2. S. B. Papernyi *et al.*, OFC 2002, PD. **FB4**
3. K. Rottwitz *et al.*, ECOC'99 vol. 2, pp.144-145
4. V. Dominic *et al.*, OAA 2001, **OMC6-1**
5. P.B. Hansen *et al.*, OFC'98 *Tech. Digest*, **TuD1**.
6. T. Natio *et al.*, OFC 2002, *Tech. Digest*. **TuR1**.
7. M. Bolshtyansky *et al.*, OFC 2002, *Proc.* **ThJ5**.
8. H.S. Seo *et al.*, *IEEE PTL*, vol. **13** (1), p.28. 2001.
9. H.S. Seo *et al.*, *JLT*, vol. **19** (3), p.391. 2001.
10. C.R.S. Fludger *et al.* OFC 2002, *Proc.* **TuJ3**.
11. S. Kado *et al.* OFC 2002, *Tech. Digest*. **TuJ4**.
12. H.S. Seo *et al.*, CLEO 2001 *Proc.* **CWA53**.
13. H.S. Seo *et al.*, OECC 2001 *Proc.* **WG**, p. 328.
14. H.S. Seo *et al.*, OFC 2002 *Proc.* **ThGG26**.