열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기의 특성에 관한 연구

양 동 평*, 김 정 근
광주대학교 컴퓨터전자통신공학부
E-mail : ekfvoddl02@empal.com

A Study on the Characteristics of Variable Optical Attenuators Using Heat Insulating Structures

Dong-Pyeong Yang*, Jeong-Geun Kim
Division of Computer, Electronic & Communication Engineering
Kwangju University

Abstract

In this paper, attenuation characteristics of silica-based variable optical attenuator (VOA) with heat insulating structures are investigated by variations of structural parameters and heating power at wavelength 1.55㎛. The characteristics of power dissipation and attenuation at this VOA was optimized in terms of heating insulating width, under-cladding height and over-cladding height. The optimized maximum attenuation of this VOA was achieved about 31dB at heating power 150mW.

Ⅰ. 서 론

최근 인터넷의 급속한 보급에 따라, 통신네트워크의 전송용량을 증대시키기 위한 다수의 시도가 이루어지고 있다. 현재에는 파장의 서로 다른 복수의 광신호를 1개의 광섬유로 다중화시켜 전송하는 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 방식이 실용화되어 최신의 시스템에서는 광섬유 한 개당 전송용량이 1Tbit/s를 초월하는 실험 결과도 보고되었다[1]. 이와 같은 대용량전송시스템에서는 EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) 등의 광증폭기 사용이 불가결하게 되는데, 광증폭기가 이득파장의존성을 갖기 때문에, 수신기의 포화나 S/N비의 악화 등의 문제가 야기되어진다.

이 문제를 해결하는 방법으로는 다중화기의 앞단에 가변광감쇠기(VOA : Variable Optical Attenuator)를 설계하여 각 파장마다 신호레벨 조절을 행하는 방법이 검토되어지고 있다. 이러한 목적에 맞는 가변광감쇠기는 입력 광강도 변화에 의한 레벨조절과 다채널화가 가능하고, 각 채널마다 독립제어가 가능하다. 지금까지 주로 보고되었던 PLC형 가변광감쇠기는 Mach-Zehnder 간섭효과를 이용하여 만들어졌다. 즉, 두 개의 방향성 결합기 혹은 Y-branch 사이의 한쪽 도파로에 열을 가하여 위상을 변화시켜 출력광 세기를 조절하였다. 이러한 구조를 갖는 가변광감쇠기는 소자의 크기가 커 손실이 증가하고 다른 소자와 함께 집적하는데 있어 어려움을 갖고 있다[2]. 실리카 도파로 재료는 열광학계수가 작기 때문에, 이 재료를 이용한 열광학 광가감쇠기의 소비전력은 폴리머 재료를 이용한 소자보다 10배 이상 크다. 본 논문에서는 실리카 도파로를 이용한 Mach-Zehnder 형태의 감쇠기의 소비전력을 낮추기 위하여 도파로 사이에 heat insulating groove를 이용하여, 감쇠기의 구조파라미터와 전극전력의 변화에 따른 감쇠 특성들을 조사하였다.

Ⅱ. 가변광감쇠기의 원리

일반적으로 이용하고 있는 가변광감쇠기의 기술적인 해법은 그림1과 같이 마흐-젠더(MZ)간섭형 도파로 설계에 기초를 두고 있다. 이러한 구조는 직선 도파로영역, 1x2 3dB 분배기, 두개의 직선도파로 영역, 2x1 3dB 결합기와 마지막 직선도파로로 구성되어 있다. 직선 도파로에서 입력된 광신호는 위쪽과 아래쪽의 도파로 arm으로 각각 1/2로 진행하게 된다. 위쪽과 아래쪽의 도파로 arm으로 각각 1/2로 진행하게 광신호 사이의 위상에 따라 출력 신호가 달라지게 된다.

그들은 고려된 파장에서 모두 단일모드가 되도록 가정되었다. 광인 이상적인 마흐-젠더 구조를 지나간다면, 동위상인 두개 모드는 결합기로 입력된다. 위상이 arm 도파로 중의 한쪽에 천이된다면, 마지막 단일모드 직선 도파로영역에서 광은 합성모드를 유지할 수 없다. 두 도파로로 전송되는 광신호는 위상차에 약간의 에너지가 방사되고, 출력단에 전송되는 광은 0~100% 사이에 존재하게 된다.

두 경로의 위상차가 180°이면 출력도파로에서의 광세기는 0이고, 동위상인 경우에는 두 광신호가 더해지게 된다.

두 도파로 사이의 위상차를 조정하기 위해 열광학효과가 이용된다. 일반적인 광통신 재료는 온도에 의한 매질의 굴절률이 변화하게 되어 위상이 변화될 수 있다. 위상의 변화량은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 매질의 굴절률이 변화하면, 위상이 변하게 된다. 광도파로의 굴절률의 변화량 Δn은 열광학원리에 의해 일어나게 된다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\,\Delta n\, l \qquad (1)$$

$$\Delta n = \frac{\Delta n}{\Delta T}\,\delta T \qquad (2)$$

여기서 Δn은 온도에 변화에 대한 굴절률의 변화이다. $\Delta n/\Delta T$은 열광학계수이고, 온도와 파장에 종속적이다. 도파로에 온도 T의 열을 가하면, 온도의 변화와 매질의 밀도 ρ의 변화에 의해 도파로의 굴절률 n이 변하게 된다. 온도에 대한 굴절률의 변화율을 열광학계수(thermo-optic coefficient)라고 하고, 다음과 같다[3-5].

$$\frac{dn}{dT} = \left(\frac{\delta n}{\delta \rho}\right)_T \left(\frac{\delta \rho}{\delta T}\right) + \left(\frac{\delta n}{\delta_T}\right)_\rho$$

$$= -\left(\frac{\rho \delta n}{\delta \rho}\right)_T \gamma + \left(\frac{\delta n}{\delta T}\right)_\rho \qquad (3)$$

실리카인 경우에 열팽창계수인 γ 는 10^{-6}/℃이고, 실리카의 열광학계수는 1×10^{-5}/℃이다.

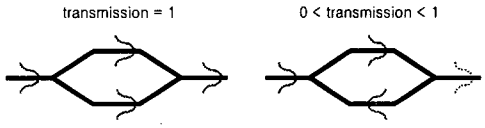


그림 1. 마흐-젠더 간섭형 VOA의 원리

Ⅲ.열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기 구조

본 논문에서 설계한 가변광감쇠기는 기존의 광감쇠기와는 다르게 , 열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기로써 그림 2와 같이 보여준다.

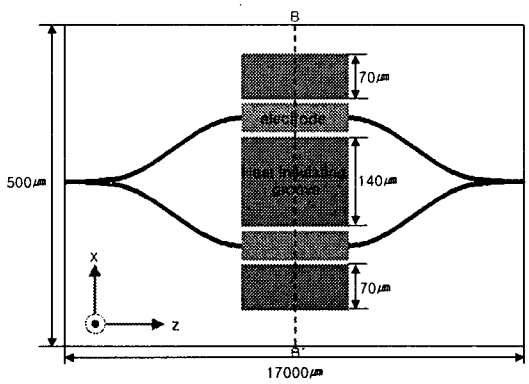


그림2. 열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기 구조

이 구조는 직선 도파로영역, 1x2 3dB 분배기, 두개의 직선도파로 영역, 2x1 3dB 결합기와 마지막 직선도파로로 구성되어있으며, 두 도파로사이에 열을 차단하여 소비전력을 낮추기 위하여 열절연 구조를 이용하였다. 도파로의 재료는 실리카를 사용하였으며, 동작파장과 상대굴절률차는 각각 1.55㎛, 0.75%로 사용하였다. 그리고 기존의 광섬유와 쉽게 결합하기 위해 입력과 출력도파로의 단면을 6㎛ x6㎛로 하였다. 또 그림 2에서 본 것처럼 전극을 모두 2개 달았으나 본 논문에서는 Mach-Zehnder 간섭계의 두 arm 도파로 중 위쪽에만 전극전력을 가해 시뮬레이션 하였다. 그리고 전체 도파로 길이는 17000㎛로 설정 하였다.

그림 3은 그림 2의 B-B′ 부분을 잘랐을 때 전극 단면도를 보여주고 있다. 도파로는 매립형 채널 도파로이고, 도파로의 재료는 열광학 온도계수가 낮은 실리카를 이용하였다. 이 구조에서 전체 도파로 폭은 500㎛, 하부층 클래딩(under cladding)의 높이는 50㎛, 그리고 상부층 클래딩(over cladding)의 높이는 15㎛로 하였고, (core layer)의 높이는 6㎛로 설정하였다. 이에 따른 코어와 클래딩의 굴절률은 각각 1.455, 1.444이다.

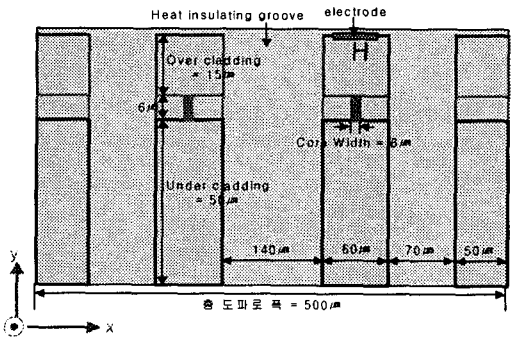
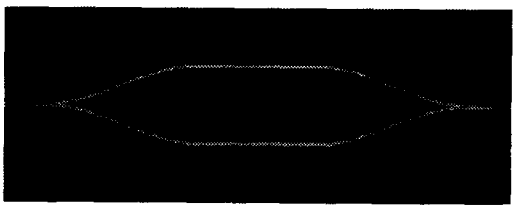


그림 3. 열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기의 전극 단면도

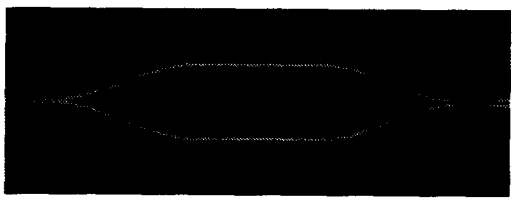
그리고 전극은 Mach- Zehnder 간섭계 영역의 위쪽 도파로에 놓았다. 여기서 전극폭은 45㎛, 길이는 z 축으로 4000㎛로 하였다. 그리고 소비전력을 낮추기 위하여 heat insulating groove의 폭은 140㎛, 70㎛로 설정 하였다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 장에서는 앞장에서 제시한 열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기를 설계하여 그 특성 결과를 제시하였다. 그림 4는 가변광감쇠기의 광 분포를 나타낸 것으로서, 그림 4(a)는 광을 입사하면 전극전력을 인가하지 않았을 경우 광출력을 보여주고, 그림 4(b)는 도파로 전극 부분에 전력을 인가해 두 도파로 사이의 상대적인 위상차가 180°인 경우의 출력 특성을 보여준다.



(a) 전극전력 OFF 상태



(b) 전극전력 ON 상태

그림 4. 열절연 구조를 이용한 가변광감쇠기의 광분포

도파로에 전극전력을 가하면, 온도의 변화와 매질의 밀도 변화에 의해 도파로의 굴절률이 변하게 된다. 온도에 따른 굴절률 변화는 실리카의 온도에 대한 굴절률 변화, 즉 열광학 계수는 1×10^{-5}/°C, 열전도율은 1.4[W/m/K]로 가정하였다.

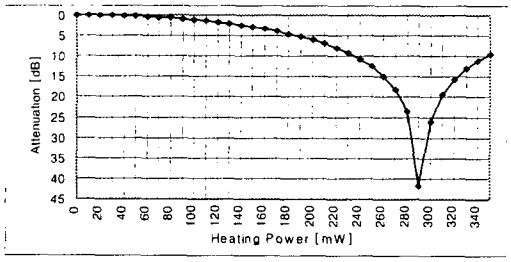


그림 5. 기존의 MZI를 이용한 가변광감쇠기에서 전극전력에 따른 감쇠 출력

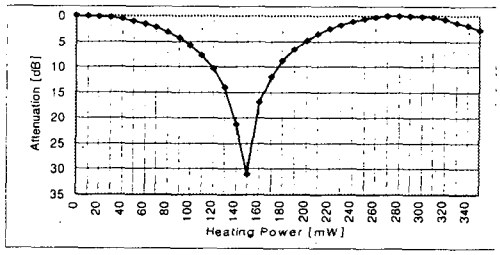


그림 6. Heat insulating groove를 갖는 가변광감쇠기에서 전극전력에 따른 감쇠 출력

그림 5은 기존의 가변광감쇠기 구조로써 heat insulating groove가 없는 상태에서 전극전력에 따른 감쇠 출력을 보여주고 있으며, 그림 6은 heat insulating groove를 갖는 상태에서 전극전력에 따른 감쇠 출력을 보여주고 있다. Heat insulating groove를 갖는 구조가 없는 구조보다 소비전력이 낮음을 알 수 있다.

그림 6은 전극전력을 0mW에서 300mW까지 각각 10mW씩 전극전력을 인가하여 이에 대한 감쇠 출력의 변화를 조사하였다. 그 결과 전극전력 150mW에서 감쇠는 31dB였다.

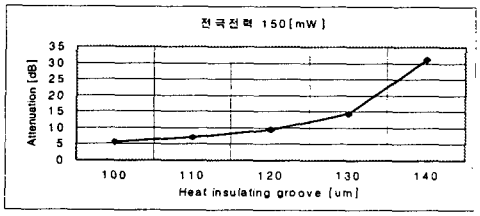


그림 7. Heat insulating groove 폭변화에 따른 감쇠 특성

그림 7은 전극전력 150mW일 때, heat insulating groove 폭 변화에 따른 감쇠특성을 보여준다. 두 도파

로 사이의 폭을 100㎛에서 140㎛까지 10㎛씩 변화시키면서 조사된 감쇠값은 폭이 클수록 증가되었다. 최적화된 폭 140㎛에서의 감쇠는 31dB이었다.

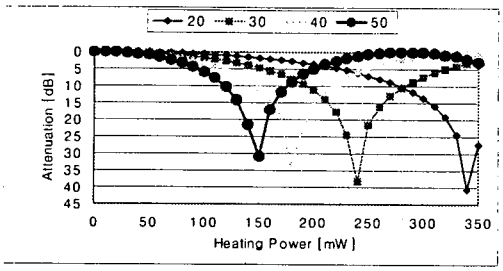


그림 8. under clad 높이 변화에 따른 감쇠특성

그림 8은 under층 높이 변화에 따른 감쇠특성을 보여준다. Under층 클래딩의 높이를 20㎛에서 50㎛까지 각각 10㎛씩 변화에 따른 최대 감쇠값은 높이가 작을수록 증가하였으나, 소비전력은 증가하였다.

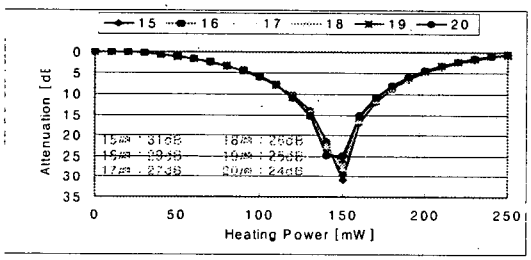


그림 9. over clad 높이 변화에 따른 감쇠특성

그림 9는 under층 클래딩의 높이가 50㎛에서 over 클래딩 높이 변화에 따른 감쇠특성을 보여준다. Over 클래딩 높이를 15㎛에서 20㎛까지 각각 1㎛씩 변화에 따른 최대감쇠값은 높이가 작을수록 증가하였다. Under층 클래딩의 높이, 두 도파로사이의 폭과 over 클래딩의 높이가 각각 50㎛, 100㎛, 15㎛에서 감쇠특성이 최적화되었으며, 최대 감쇠와 전극전력은 각각 31dB, 150mW이었다.

V. 결론

본 논문에서는 파장 1.55㎛와 상대굴절률차 0.75%에서 heat insulating groove를 이용한 MZI형태의 가변광감쇠기의 설계구조 파라미터와 소비전력의 변화에 의한 감쇠 특성들을 조사하였다. 광도파로의 재료는 온도에 의한 굴절률 변화율이 낮은 실리카를 이용하였다. 이 전송특성은 해석의 용이함과 해석시간을 줄이기 위해서 3차원구조의 도파로를 유효굴절률법(EIM)에 의해 2차원 구조의 도파로로 근사화시킨 후, 반사파에 의한 영향을 고려해 투명경계조건을 이용하였다.

시뮬레이션 결과, heat insulating groove를 이용한 가변광감쇠기는 heat insulating groove 폭이 넓을수록 전극전력에 따른 감쇠효율은 감소된 반면에, 전극전력은 줄어들고 감쇠효율이 더 완만함을 확인하였다. 또한, under 클래딩의 높이가 크고, over 클래딩 높이가 작을수록 소비전력이 감소하였다. Under층 클래딩의 높이, 두 도파로사이의 폭과 over 클래딩의 높이가 각각 50㎛, 100㎛, 15㎛에서 감쇠특성이 최적화되었으며, 최대 감쇠와 전극전력은 각각 31dB, 150mW이었다. 추후 과제로는 제조공정조건을 고려한 설계 결과를 바탕으로 제작하여 비교 검토하는 것이다.

참고문헌

[1] SUGA, Y., KINOSHITA, S., and CHIKAMA, T.: "Nobel configuration for low-noise and wide-dynamic-range Er-doped fiber amplifier for WDM systems", OAA'95, paper FC3-1, pp. 158-161, 1995.

[2] T. Kawai and *et al.*, "PLC type compact variable optical attenuator for photonic transport network," *Electron. Lett.*, vol. 34 no. 3 pp. 264-265, 1998.

[3] Murphy. Edmond J, "Integrated Optical Circuits : design and applications", Marcel Dekker, pp. 239-298, 1999.

[4] Q.Lai, W. Hunziker, Member, IEEE, and H. Melchior, Fellow, IEEE, "Low-power Comact 2x2 Thermooptic Silica-on-Silicon Waveguide Switch with Fast Response", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 5, pp 681-683 May 1998.

[5] Isao Kobayashi and Kengi Kuroda, "Step-type optical delay line using silica-based planar light-wave circuit(PLC) technology", IEEE Instrument Technology Conferece, St. Paul, Minnesota, USA, pp 693-698, May 18-21, 1998.