

論文2002-39SD-1-8

Tapered 방향성 가중 결합 음향파 도파로 구조를 이용한 음향광학형 파장가변 광 필터에 관한 연구

(A Study on the Acousto-Optical Wavelength Tunable Filters Utilizing Tapered Directional Coupler SAW Guides)

鄭起彫*, 金貞姬*, 鄭洪植**

(Gi-Jo Jung, Jung-Hee Kim, and Hong-Sik Jung)

요 약

Tapered 방향성 가중 결합 음향파 도파로를 이용하여 음향광학형 파장가변 광 필터를 LiNbO₃와 Ti 이중 확산 공정 기술을 이용하여 제작하였다. 1551.1nm 파장의 TE, TM 입사 편광모드와 173.58MHz, 35mW RF 구동 신호에 대해서 각각 -14.29dB, -14.99dB 부 모드 억압과 61%, 86% 변환효율이 측정되었다. 파장변화율과 통과 대역폭은 8.6nm/MHz, 1.8nm로 측정되었으며, 스위칭 속도는 2.82μs로 측정되었다. 2.5nm 채널 간격에 대해서 약 -14dB 누화 레벨이 측정되었으며, 부 모드와 채널 간격이 누화에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

Abstract

Acousto-optical wavelength tunable optical filters in LiNbO₃ have been demonstrated using tapered directional weighted coupling acoustic waveguides and Ti double diffusion technique. Conversion efficiency in excess of 61%, 86% and sidelobe intensity of -14.29dB, -14.99dB were measured at a wavelength of 1551.1nm, RF frequency of 173.58MHz and RF power of 35mW for both TE and TM input polarizations, respectively. A spectral width of ~1.8nm and linear tuning rate of 8.6nm/MHz were demonstrated. A 2.82μs switching time has been measured. With two channels with 2.5nm separation, channel cross-talk was lower than -14dB for single wavelength filtering due to sidelobe.

I. 서 론

파장 가변형 광 필터와 파장 선택형 광 삽입/분기 밀

* 正會員, 弘益大學校 電子電算工學科

(Dept. of Elec, and Computer Eng., Graduate School, HongIk Univ.)

** 正會員, 弘益大學校 電子電氣컴퓨터工學部

(School of Electrical, Electronic & Computer Engineering, Hong-Ik Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-010-3) 지원으로 수행되었음.

接受日字:2001年9月10日, 수정완료일:2001年12月12日

티플렉서(OADM : Optical Add/Drop Multiplexer)는 파장분할다중 광전송 및 광 교환 시스템을 구현하는데 매우 중요한 소자들 중의 하나로 인식되어져 많은 연구가 진행되어왔다.^[1] 특히 LiNbO₃의 음향광학효과를 이용한 파장 가변형 광 필터(AOTF : Acousto-Optic Tunable Filter)는 150nm 이상의 넓은 파장 가변 범위, 1.5nm 이하의 좁은 통과대역폭, 수 μs 정도의 비교적 빠른 스위칭 속도 그리고 여러 개의 파장 채널을 동시에 선택할 수 있는 장점들을 가지고 있지만, 한편으로 표면 음향파(SAW : Surface Acoustic Wave) 구동에 필요한 RF 파워와 부 모드(sidelobe)가 비교적 크다는 이유 때문에 실용화에 많은 제약을 받아왔다. 그러나 요 근래에 일본의 후지쯔 그룹은 3dB 대역폭과 부 모드

레벨이 각각 0.37nm와 -27dB를 나타내는 AOTF를 이용하여 OADM을 구현한 다음, 10Gb/s×32 채널 WDM 전송시스템에 장착한 실험 결과를 발표하여서 국내외적으로 다시 한번 많은 관심을 불러 일으켰다.^[2]

AOTF에서 나타나는 부 모드 원인은 균일 결합 구조의 경우 SAW의 급작스러운 생성, 소멸로 인해 생성된 광 탄성 격자(photoelastic grating)와 광도파로를 따라 진행되는 광자들이 충돌하여 발생하게 된다. 이러한 부 모드를 줄일 수 있는 방법으로 SAW의 세기를 결합 길이에 대하여 서서히 증가, 감소시키는 가중 결합(weighted coupling) 방법이 있으며, 이러한 방법을 'apodization'이라고 한다. 국외의 여러 그룹에서는 방향성 음향파 도파로 구조 등과 같은 다양한 가중 결합 구조들을 제안하여 부 모드를 감소시킨 연구 결과들을 발표하였다.^[3-7] 국내의 연구 그룹도 SAW 구동 파워와 부 모드 레벨을 줄이기 위해서 음향파 도파로의 방향성 가중 결합 원리를 이용하여 AOTF를 제작하였으며, 관련된 연구 결과를 이미 발표한 바 있다.^[8] 이 연구에서는 균일 결합 구조형 AOTF의 부 모드와 비교해서 8 dB 추가 억제시켜서 약 -13dB 부 모드 레벨을 얻었지만, 다 채널 전송시스템에서 필터로 적용하기에는 아직 부 모드 레벨이 높은 수치에 해당된다.

따라서 본 연구에서는 부 모드를 좀더 추가 억제시키기 위한 구조로 방향성 결합 구조의 음향파 도파로 간의 결합 계수(coupling coefficient)가 SAW 진행 방향에 따라 가변 되어지는 구조를 이용하여 AOTF를 설계, 제작하였다. 본 논문의 2장에서는 tapered 가중 결합 구조에 적합한 이론적 모델을 검토하였으며, 소자의 구조 및 제작 공정은 3장에서 자세히 언급하였다. 4, 5 장에서는 제작된 소자의 모드변환 특성과 스위칭 속도 측정과 관련된 연구 결과를, 6장에서는 부 모드가 다 채널 필터 특성에서 누화(cross-talk)에 미치는 영향을 두 채널 간격을 좁혀가면서 체계적으로 검토한 연구 결과들을 요약하였으며, 결론을 7장에 실었다.

II. Tapered 가중 결합의 이론적 고찰

AOTF의 동작은 SAW에 의해서 LiNbO₃ 표면에 생성된 복굴절 섭동(birefringence perturbation)이 광도파로를 진행하는 두 편광모드를 결합하여, 변환시키는 원리에 기초한다. LiNbO₃와 같은 복굴절 기관에 제작된 광도파로를 따라 진행되는 두 편광모드(TE, TM)는 유

효굴절률 값이 같지 않기 때문에 진행되는 위상속도 또한 다르며, 이럴 경우에 두 편광모드간의 결합 효율은 매우 떨어지게 된다. 이러한 구조에서는 일반적으로 두 편광모드의 위상 속도를 서로 정합 시켜 주어야만 완전한 모드 변환을 기대할 수 있다. 따라서 AOTF 경우에는 SAW의 모멘텀이 편광모드간의 위상속도 부 정합을 보상시킬 때 완전한 편광모드 변환이 일어난다. 한편 편광모드간에 결합이 일어나, 다른 모드로 변환되는데 필요한 최소거리, L_b는 $\lambda / (n_{TE} - n_{TM}) = \lambda / \Delta n$ 로 정의된다. 여기서 n_{TE}와 n_{TM}은 TE, TM 편광모드의 유효굴절률이며, λ는 광파의 파장이다. 교차지 트랜스듀서(IDT : Inter Digital Transducer)에 의해서 발생하는 SAW의 주기 λ가 결합 길이 L_b와 같을 때 완전한 모드변환이 일어나며, 이때 SAW의 주기 λ는 $V_s / f_o = \lambda / \Delta n$ 로 정의된다. 여기서 V_s와 f_o는 SAW의 위상속도와 구동주파수를 각각 의미한다.^[9]

가중결합 구조의 결합계수는 그림 1과 같이 결합 길

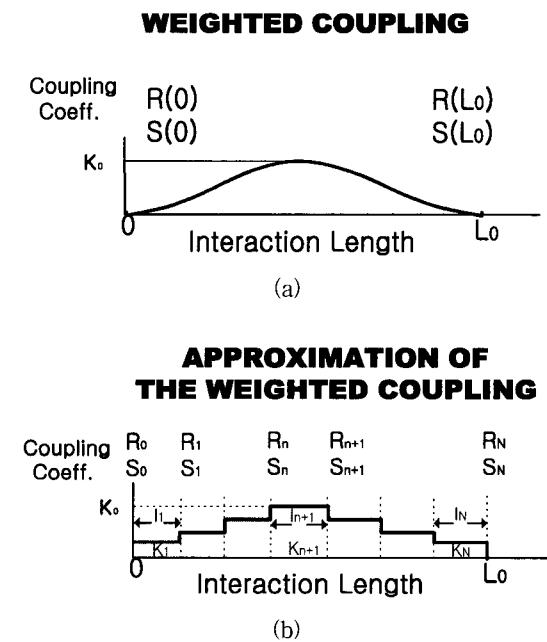


그림 1. (a) 가중결합 구조의 결합 계수 x의 분포. (b) 결합길이를 매우 작은 구간으로 분할하여 나타낸 결합 계수의 근사 분포

Fig. 1. Schematic illustrating mode coupling coefficient by (a) weighted-coupling and (b) approximation of the weighted coupling in (a) by dividing the interaction length into small segments of length l_n.

이에 대해 서서히 증가하고 감소하는 형태를 가지게 된다. 이를 해석하기 위해서는 결합계수가 균일하지 않은 유효 상호작용 거리 L_w 를 N 개의 매우 작은 구간 l_n 으로 나누고, 각 구간 l_n 에 대해서 균일한 결합계수를 갖는다고 가정한다. 다음, 각 구간 l_n 에 대해서 해를 구하면 된다. 인접된 구간을 통과한 후, 출력된 모드는 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} R_{n+1} \\ S_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_n & -jQ_n \\ -jQ_n^* & P_n^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ S_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P_n = e^{-j\Delta\beta l_n/2} \left[\cos \sqrt{(x_n l_n)^2 + (\Delta\beta l_n/2)^2} + \frac{j\Delta\beta l_n/2}{\sqrt{(x_n l_n)^2 + (\Delta\beta l_n/2)^2}} \sin \sqrt{(x_n l_n)^2 + (\Delta\beta l_n/2)^2} \right] \quad (2-1)$$

$$Q_n = e^{-j\Delta\beta l_n/2} \left[\frac{x_n l_n}{\sqrt{(x_n l_n)^2 + (\Delta\beta l_n/2)^2}} \sin \sqrt{(x_n l_n)^2 + (\Delta\beta l_n/2)^2} \right] \quad (2-2)$$

여기서 R 과 S 는 TE와 TM 모드의 정규화 복소 진폭을, $\Delta\beta$ 는 위상 부 정합을 나타낸다. 식 (2)를 전체 N 구간에 대해 적용하면, 전체 응답 특성은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R_N \\ S_N \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{n=0}^{N-1} \begin{bmatrix} P_n & -jQ_n \\ -jQ_n^* & P_n^* \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} R_0 \\ S_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 N 을 충분히 크게 하였을 경우, 완전한 모드 변환을 위한 조건은 다음과 같다.

$$\sum_{n=0}^{N-1} (l_n x_n) = \int_{-L_w/2}^{L_w/2} x(x) dx = x_0 \int_{-L_w/2}^{L_w/2} w(x) dx = \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

L_w 는 가중 결합 AOTF의 유효 상호작용 거리이며, 균일 결합 AOTF의 경우에는 $x_0 L_0 = \pi/2$ 일 때 완전한 모드 변환이 일어나게 된다. 유효 상호작용 거리 L_w 는 아래의 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$L_0 = \int_{-L_w/2}^{L_w/2} w(x) dx \quad (5)$$

여기서 L_0 는 균일 결합 구조에서의 상호작용 거리이며, $w(x)$ 는 가중 결합에 적용되는 window 함수이다. 가중 결합을 적용할 경우 유효 상호작용 거리 L_w 와 L_0 간의 비를 상수 r 로 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$r \equiv L_w/L_0 \quad (6)$$

r 은 사용되는 window 함수에 따라 달라지며, 일반적으로 1 보다는 큰 값을 가지게 된다.

일반적으로 방향성 결합 구조를 이용한 AOTF의 경우 raised-cosine을 결합 함수로 많이 사용하고 있으나^[3], tapered 방향성 가중 결합 구조를 가지는 AOTF에 적용 가능한 가중 결합 함수로는 소자 중간에서 두 음향파 도파로가 만나게 되는 것을 고려하여, 중간 부분에서 더 급격하게 값이 커졌다가 작아지는 식 (7)과 같은 Gaussian 함수를 적용하였다. 이 경우에 r 값은 2.45로 계산된다.

$$w(x) = \exp(-\pi b y^2/L_w^2), \quad b=6.0 \quad (7)$$

그림 2는 tapered 방향성 가중 결합 구조의 AOTF에 Gaussian 함수를 적용하여 정규화 주파수 ($\Delta\beta L_w$)에 따른 전달 함수의 특성을 나타낸 것이다. 이 경우 최대 부 모드는 -43.13dB로 raised-cosine 함수를 적용한 방향성 결합구조를 가지는 AOTF의 경우 보다 매우 작아지게 된다.

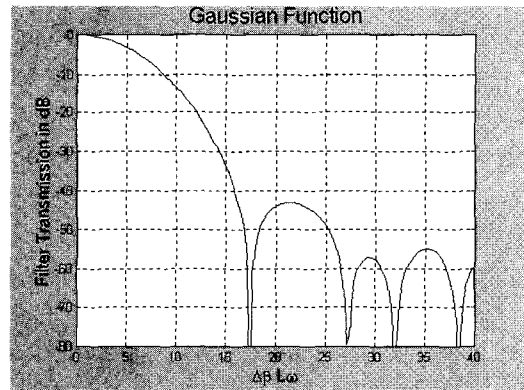


그림 2. Tapered 가중 결합구조를 가지는 AOTF에 Gaussian 함수를 적용하여 얻은 응답 특성
Fig. 2. Tapered weighted-coupling AOTF response characteristics obtained for Gaussian function.

Ⅲ. 방향성 가변결합형 AOTF의 설계 및 제작공정

그림 3은 tapered 방향성 가중결합 음향파 도파로를 이용한 AOTF 구조이다. 음향파 장벽의 폭은 $150\mu\text{m}$, 장벽간의 간격은 $110\mu\text{m}$ 그리고 두 음향파 도파로간의 초기 간격은 $70\mu\text{m}$ 로 설계하였으며, 사진식각 공정에서 재현성을 좋게 하기 위해서 $5\mu\text{m}$ 간격에서 두 음향파 도

파로가 합쳐도록 하였다. SAW를 발생시키는 IDT (Inter Digital Transducer) 전극 주기는 $\Lambda=21.2\mu\text{m}$ 로 하였으며, 개수는 10으로 하였다. 제작 공정은 다음과 같다. X-cut LiNbO_3 에 magnetron sputter로 $\sim 1600 \text{ \AA}$ Ti을 증착한 다음 1050°C 온도에서 24시간 동안 wet- O_2 분위기에서 확산하여 음향파 도파로를 제작하였다. 고온에서 장시간 확산한후 표면을 현미경으로 관찰한 결과 특별한 징후는 없으나, 가장자리 부근에서 거북이 등 모양 같이 표면이 갈라지는 현상이 관찰되었다. 이어서 $\sim 1000 \text{ \AA}$ Ti을 음향파 도파로가 제작된 기판 위에 다시 증착한 다음 $8\mu\text{m}$ 폭의 Ti 채널 패턴을 형성하여, 다시 1050°C , wet- O_2 분위기에서 8시간 동안 확산시켜 1550nm 파장대역에서 단일모드 특성을 나타내는 채널형 광도파로를 음향파 도파로 안에 형성하였다. 이어서 입사 및 출력 단면을 optical grade 수준으로 연마하였다. 최종적으로 IDT 전극을 NiCr으로 제작하였다. 제작된 소자의 현미경 표면 사진은 그림 4와 같다.

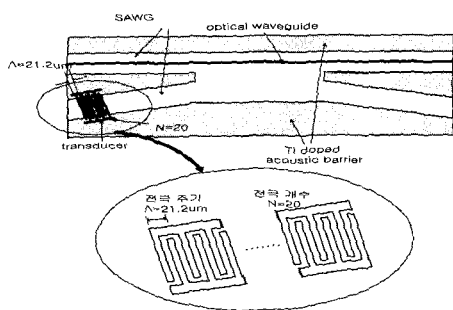


그림 3. Tapered 방향성 가중 결합형 음향파 도파로를 이용한 AOTF 구조
 Fig. 3. Schematic structure of AOTF with tapered weighted acoustical directional coupler.

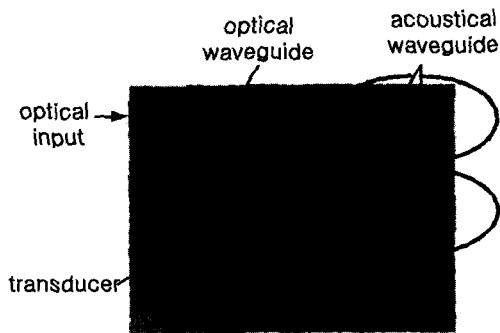


그림 4. 제작된 tapered AOTF 소자의 현미경 표면 사진
 Fig. 4. Microscope surface photograph of fabricated tapered AOTF.

IV. 편광모드 변환 특성

제작된 AOTF의 특성을 측정하기 위해서 Butt 결합 시스템을 구성하였다. 광원은 1551.1nm 의 파장을 갖는 DFB 레이저와 $1511\text{--}1581\text{nm}$ 범위의 파장변화가 가능한 파장가변 레이저를 사용하였다. 입사되는 광원의 편광 모드를 바꿀 수 있도록 편광조절기를 사용하였으며, 출력단에 편광분석기를 설치하여 특정 편광모드만 선택할 수 있도록 하였다. 또한 실시간 측정을 위해서 DAQ 카드와 LabView 프로그램을 활용하였다. 소자를

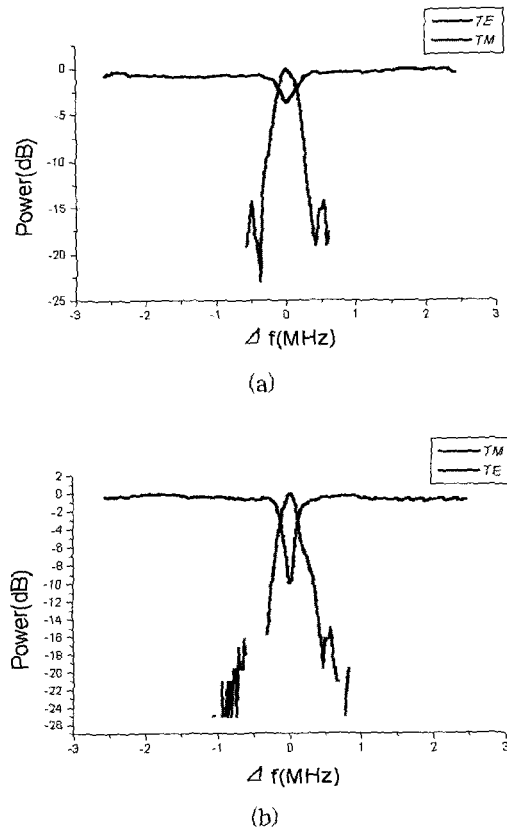


그림 5. 1551.1nm 파장의 (a) TE 입사모드와 (b) TM 입사모드에 대해서 35mW 파워의 RF 구동 주파수를 변화시키면서 측정된 TE, TM 모드 파워의 특성. 모드변환이 최대가 되는 중심 주파수는 173.58MHz
 Fig. 5. Measured converted power versus acoustical frequency variation for (a) TE and (b) TM incident mode with 1551.1nm wavelength and 35mW RF driving power. Maximum mode conversion occurs at 173.58MHz .

측정하기 전에 IDT에 의해서 구동된 SAW가 입·출력 면에서 반사되는 것을 억제하기 위해서 입·출력단 전 후에 scotch tape를 이용하여 absorber를 형성하였다.

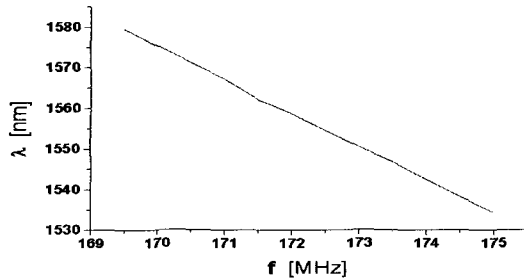


그림 6. TM 입사모드에 대해서 SAW RF 주파수 변화에 따라 모드변환이 최대가 되는 파장의 변화

Fig. 6. Wavelength change for maximum conversion efficiency of TM incident mode versus SAW RF frequency tuning.

모드 변환이 최대가 되는 RF 구동 주파수로부터 ± 2 MHz 범위의 주파수를 변화시키면서 TE→TM, TM→TE의 각 모드 파워를 측정하였다. 그림 5(a)는 1551.1nm 파장을 갖는 TE 입사 편광모드에 대해서 SAW의 주파수를 변화시키면서 측정한 모드변환 특성을 나타낸 것이다. 중심 주파수 173.58MHz, RF 구동파워 35mW에서 61%의 변환 효율이 측정되었다. 이때 가장 큰 부 모드 레벨은 -14.29dB로 측정되었다. 이 값은 방향성 가중결합 음향파 도파로 구조를 갖는 AOTF에서 보여준 -12.68dB의 부 모드 레벨을 1.61dB 추가 억제한 수치이지만, 모드 변환 효율은 좋지 않은 것으로 측정되었다. 또한 통과대역폭(FWHM)도 340kHz(3.04nm)로 비교적 넓게 측정되었다. 한편 그림 5(b)는 TM 입사 편광모드에 대해서 SAW의 주파수를 변화시키면서 측정한 모드변환 특성을 나타낸 것이다. 중심 주파수는 173.58MHz, RF 구동파워는 35mW에서 86%의 변환 효율이 측정되었다. 이때 가장 큰 부 모드 레벨은 -14.99dB로 측정되었다. 이 역시 방향성 가중결합 음향파 도파로 구조를 이용한 AOTF로부터 측정된 -12.97dB의 부 모드를 2.02dB 추가로 억제시킨 것이며, 모드 변환 효율도 비교적 양호하게 측정되었다. 통과대역폭(FWHM)은 210kHz(1.88 nm)로 측정되었다. 그림 6은 TM 입사모드에 대해서 RF 주파수 변화에 따라 모드 변환이 최대가 되는 파장의 변화를 측정한 결과로, 기술기에 해당하는 파장변화율은 8.62(nm/MHz)로 측정되었다.

V. 스위칭 속도

AOTF의 스위칭 속도를 측정하기 위해서 그림 7과 같은 측정시스템을 구성하였다. PIN 다이오드를 구동시키는 신호발생기의 신호가 5V(high) 일 경우 RF를 통과시키고, 0V(low) 일 때는 RF를 차단시켜서, AOTF에 인가되는 RF를 일정한 주기로 on/off 할 수 있도록 하였다. APD(avalanch photodiode)를 이용하여 광 신호를 수신하였으며, APD의 수광 면적이 매우 작기 때문에 출력된 광파를 pinhole에 통과시켜서 광파의 크기를 조절하였다. APD에서 출력된 전기 신호를 측정형 오실로스코프를 이용하여 펄스의 상승시간을 측정하였다.^[10]

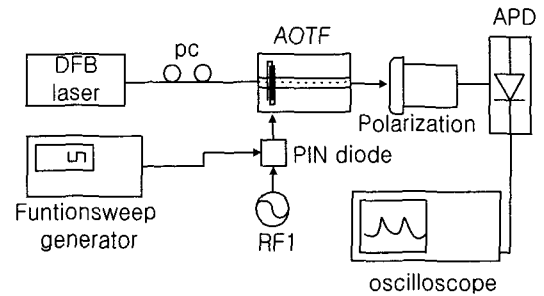


그림 7. Tapered AOTF의 스위칭 속도 측정 시스템 Fig. 7. Schematic diagram of switching speed measurement.

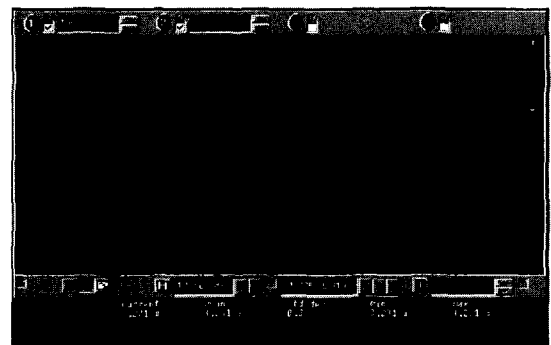


그림 8. Tapered 가중 결합 AOTF를 통과한 후 측정된 광 신호의 세기 Fig. 8. Optical intensity of filtered signal passing through AOTF with tapered weighted coupling.

스위칭 속도는 TM 입사 모드, 17.78mW RF 구동 파워를 인가하여, 173.05MHz에서 90% 변환 효율을 가지는

조건에서 측정하였다. 그림 8은 오실로스코프로 측정된 데이터 화면을 나타내고 있다. 상승시간(rise time)을 정상상태(steady state)의 90%에 도달하는 데에 걸리는 시간으로 오실로스코프를 조정하였을 때 상승시간의 평균치가 $2.82\mu\text{s}$ 로 측정되었다. 측정된 상승시간은 대부분이 음향파가 생성되어 진행하는데 걸린 지연시간에 해당한다. RF 펄스의 지연시간($<0.1\mu\text{s}$)과 APD 광검파기에서 광원이 수신되어 전류신호로 바뀔 때 나타나는 지연 성분($<90\text{ps}$)도 있겠지만 매우 작은 값으로 무시할 수 있는 수치이다. SAW의 속도를 3710 m/s , SAW의 진행길이(IDT 끝에서 absorber 간의 길이)가 14mm 일 때, SAW가 음향파 도파로를 진행하는데 걸리는 지연시간은 $3.77\mu\text{s}$ 로 계산되어 측정치가 이론치보다 $0.95\mu\text{s}$ 정도 빠른 결과가 나타났다. 이 오차는 90%의 모드변환 효율과 상승 시간을 펄스의 정상상태 10%에서 90%에 이르는 시간으로 간주하여 측정하였기 때문에 나타난 것으로 사료된다.

일반적으로 AOTF의 스위칭 속도를 개선하기 위해서는 SAW의 진행거리를 줄이면 가능하나, 통과대역폭과 더 높은 RF 파워를 필요하기 때문에 양자간에 적절한 trade-off가 필요하다. 수 μs 스위칭 속도 수준의 AOTF를 DWDM 시스템에서 OADM(optical add/drop multiplexer)의 기본 소자로 활용된 연구 결과가 근래에 발표되었으며^[11], 북경대학의 연구팀은 트랜스듀서의 전극 폭을 변형시킨 single phase unidirectional transducer(SPUDT) 전극구조를 이용하여 스위칭 속도를 $0.3\mu\text{s}$ 까지 낮춘 연구 결과를 발표하였다.^[12]

VI. 부모드가 다채널 동작 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 tapered 방향성 가중결합 음향파 도파로 구조를 이용한 AOTF의 다 채널 동작 특성에 부모드가 미치는 영향을 그림 9와 같은 측정시스템을 구성하여 검토하였다. DFB 광원 파장($\lambda_1=1554.18\text{nm}$)에 대해서 가변파장형 광원($=\lambda_2$)의 파장을 가변시켜 두 채널간의 간격을 조절할 수 있도록 하였으며, 입력단에 3 dB WDM 소자를 사용하여 두 광파를 광도파로에 입사시켰다. 한편 두 개의 RF 신호는 mixer와 증폭기를 거쳐서 AOTF의 트랜스듀서에 인가하였다.^[13-14]

λ_2 의 파장을 1556.74nm 로 변경하여 두 광파의 파장 간격을 2.5nm , 입사모드는 TE 모드로 조절하였다. λ_2

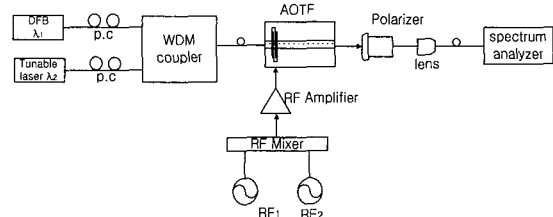
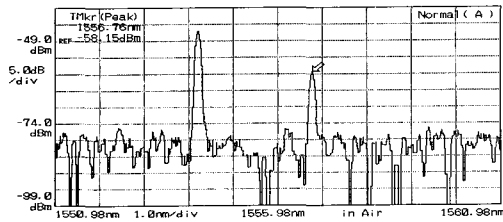


그림 9. AOTF의 다 채널 동작 특성 및 누화를 측정하는 시스템

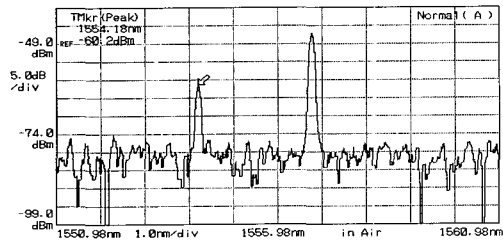
Fig. 9. Experimental measurement set-up for multi-channel operations and cross-talk.

과파에 정합 되는 172.804MHz RF를 인가하였을 때, 광스펙트럼 분석기로 측정된 TM 출력모드의 필터 특성이 그림 10(a)와 같이 측정되었다. 그러나 λ_2 광파의 필터 특성에 동반되는 부 모드 때문에 $1554.18\text{nm}(=\lambda_1)$ 광파의 일부분이 TM 모드로 변환되어 나타났으며, 이것이 시스템에서 누화의 원인이 된다. 측정된 누화의 레벨은 -14.11dB 이다. 이와 반대로 $\lambda_1=1554.18\text{nm}$ 에 정합 되는 173.118MHz RF를 인가하였을 때는 그림 10(b)와 같이 나타났으며, 이 경우도 λ_1 광파의 필터 특성에 동반되는 부 모드 때문에 $1556.74\text{nm}(=\lambda_2)$ 광파의 일부분이 TM 모드로 변환되어 나타났으며, 누화의 레벨은 -12.3dB 로 측정되었다. 두 광파에 정합 되는 RF 신호 각각에 대해서 누화의 레벨이 서로 다른 것은 각 광파들의 모드변환 특성이 달라서 다른 채널에 미치는 정도가 서로 다르기 때문이다. 그림 10(c)는 두 광파에 정합 되는 두 RF(172.804MHz , 173.118MHz)를 mixer를 통해서 동시에 인가하였을 때 측정된 필터 특성이다. 한편 AOTF는 두 채널 이상을 동시에 선택할 수 있으나 채널 개수는 전극이 견딜 수 있는 RF 파워 레벨에 의해서 제한 받게 된다.

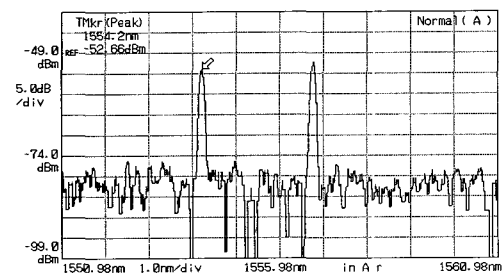
본 연구에서는 두 채널 간격에 따라 부모드가 누화에 미치는 영향을 체계적으로 검토하기 위해서 채널 간격을 0.5nm 씩 증가시키면서 측정하였다. 그림 11와 같이 채널 간격이 좁아질수록 예상한대로 누화 레벨이 증가하였으며, 채널 간격이 4nm 에서 약 16dB 정도의 누화 레벨이 측정되었다. AOTF를 WDM 시스템에 적용하기 위해서는 적어도 -20dB 이하의 부 모드 레벨이 요구되는 것으로 알려져 있다. 따라서 누화 레벨과 부 모드 레벨을 줄이기 위해서는 다음과 같은 두 가지 측면에서 좀더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 정확한 이론적 전산 시뮬레이션을 통해 좀더 효과적인 가중 결합 방식에 대한 연구가 필요하다. 이와 더



(a)



(b)



(c)

그림 10. 두 채널의 광파가 입사된 상태에서 SAW RF를 인가하여 측정된 모드변환 특성 (a) 172.804MHz (λ_2 정합) (b) 173.118MHz (λ_1 정합) (c) 172.804MHz, 173.118MHz

Fig. 10. Mode conversion characteristics for incident two channel optical wavelengths under SAW RF. (a) 172.804MHz (λ_2 matching) (b) 173.118MHz (λ_1 matching) (c) 172.804MHz, 173.118MHz.

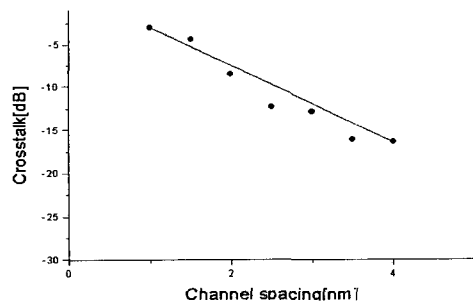


그림 11. 채널 간격을 변화시키면서 측정된 누화 레벨
Fig. 11. Experimental measured cross-talk versus the channel spacing.

불어 편광모드 간의 위상 정합, SAW와 광파 간의 균일한 결합 계수 등을 유지하기 위해서는 전체 결합 구간에서 광도파로의 특성이 매우 균일하게 유지되어야 하며, 이를 구현하기 Ti 두께, 확산 조건 등 엄격한 공정 제어가 요구된다.

VII. 결 론

본 논문에서는 방향성 결합구조의 음향파 도파로간에 결합계수가 SAW 진행 방향에 따라 가변되어지는 구조를 적용하여 tapered 방향성 가중결합 구조형 AOTF를 설계, 제작하였다. 측정된 결과들을 표 1에 요약하였다. 방향성 가중결합 AOTF의 부 모드 레벨과 비교해서 약 2dB 정도 추가 억제시킬 수 있었다. 결합 길이가 방향성 가중결합 구조보다 4mm 정도 더 짧아서 약 35mW RF 구동파워가 인가되었음에도 불구하고 약 80%정도 변환효율을 얻을 수 있었으며, 1.88nm의 통과 대역폭이 측정되었다. 한편 TM 입사 모드, 17.78mW RF 구동 파워를 인가하여, 173.05MHz에서 90% 변환 효율 조건에서 2.82 μ s 스위칭 속도가 측정되었다. 부 모드가 다 채널 필터 특성에서 누화에 미치는 영향을 두 채널 간격을 좁혀가면서 체계적으로 검토하였다. 두 광파의 파장 간격이 2.5nm 조건하에서 약 -14dB의 누화 레벨이 측정되었으며, 이러한 누화에 부 모드 레벨과 특성, 그리고 채널 간격이 매우 큰 영향을 미치고 있었다.

표 1. Tapered 가중 결합 음향파 도파로를 이용한 AOTF의 측정 결과

Table 1. Measurement results of AOTF with tapered weighted coupling acoustic waveguides.

부 모드 레벨(dB)		소멸비 (dB)	RF 구동파워 (mW)	모드변환 효율 (%)	FWHM (nm)	Tuning Rate (nm/MHz)
TE	TM					
-14.29	-14.99	-8.53	35	86	1.88	8.62

참 고 문 헌

[1] Kwok-Wai Cheung, "Acoustooptic tunable filters in narrowband WDM networks: system issues and network applications," IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 8, No.

- 6, pp. 1015-1025, Aug. 1990.
- [2] Tadao Nakazwa, "Ti:LiNbO₃ acousto-optic tunable filter(AOTF)," Fujitsu Sci. Tech. J., 35, 1, pp. 107-112, July 1999.
- [3] D. A. Smith and J. J. Johnson, "Sidelobe suppression in an acousto-optic filter with a raised-cosine interaction strength," Appl. Phys. Lett. 61(9), 31, pp. 1025-1027, Aug. 1992.
- [4] Arjun Kar-Roy and Chen S. Tsai, "Ultralow sidelobe-level integrated acoustooptic tunable filters using tapered-gap surface acoustic wave directional couplers," J. Lightwave Technol., Vol. 12, No. 6, pp. 977-982, June 1994.
- [5] Arjun Kar-Roy and Chen S. Tsai, "Integrated acoustooptical tunable filters using weighted coupling," IEEE J. Quantum Electron., Vol. 30, No. 7, pp. 1574-1579, July 1994.
- [6] Harald Herrmann, Ulrich Rust and Klaus Schafer, "Tapered acoustical directional couplers for integrated acousto-optic mode converters with weighted coupling," J. Lightwave Technol., Vol. 13, No. 3, pp. 364-374, March 1995.
- [7] F. Wehrman, Christiane Harizi et al., "Integrated optical wavelength selective, acoustically tunable 2×2 switches(add-drop multiplexers) in LiNbO₃," IEEE J. Selective Topics in Quantum Electro., Vol. 2, No. 2. pp. 263-269, June 1996.
- [8] 임경훈, 정홍식, "방향성 결합구조의 음향파 도파로를 이용한 음향광학형 파장가변 광 필터의 부 모드 억제에 관한 연구," 한국광학회지, Vol. 11, pp. 263-269, 12월 2000.
- [9] David A. Smith, "Integrated-optic acoustically-tunable filters for WDM networks," IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 8, No. 6, pp. 1151-1159, Aug. 1990.
- [10] David A. Smith and J. J. Johnson, "Switching speed of integrated acoustically-tunable optical filter," Electronics Lett., Vol. 27, No. 23, pp. 2102-2103, Nov. 1991.
- [11] Hiroshi Onaka, "Photonic networking using optical ADM and OXC nodes," fifth Optoelectronics and Communication Conference(OECC 2000) Technical Digest, pp. 426-427, July 2000, Makuhari Messe, Japan.
- [12] D. Enguang, W. Deming and Xu Anshi, "High speed integrated acousto-optic switch with high extinction ratio," Optical Fiber Communication (OFC) Conference Technical Digest, WH6-1, March 2001.
- [13] Janet L. Jackel, "Multichannel operation of AOTF switches reducing channel-to-channel interaction," IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 7, No. 4, pp. 370-372, Apr. 1995.
- [14] F. Tian and H. Herman, "Interchannel interference in multiwavelength operation of integrated acousto-optical filters and switches," J. Lightwave Technol., Vol. 13, No. 6, pp. 1146-1154, June 1995.

저 자 소 개



鄭 起 彫(正會員)
 2000년 2월 : 홍익대학교 전자공학과 졸업(공학학사). 2002년 2월 : 홍익대학교 전자전산공학과 대학원 졸업예정(공학석사). <주관심분야> 광 도파로 소자 설계 및 제작



金 貞 姬(正會員)
 2001년 2월 : 홍익대학교 졸업(학사), 2002년 : 홍익대학교 대학원 졸업예정(석사). <주관심분야> 광 도파로 소자 설계, 제작



鄭 洪 植(正會員)

1982년 2월~1984년 8월 : 서강대학교 전자공학과 학부 및 대학원 졸업(공학사, 공학석사). 1989년 5월 : Texas A&M University 전기공학과 졸업(Ph.D.). 1989년 3월~1990년 2월 : 일본 신기술사업단

(Nishizawa's Terahertz Project) 연구원. 1990년 3월~현재 : 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수. 1998년 8월~1999년 7월 : Texas A&M Univ., CEMDAS, 연구교수. <주관심분야> LiNbO₃ 광집적소자 설계 및 제작 (광변조기, 광스위치, 파장 가변형 광 필터, OADM 등), WDM 수동 광 집적 부품.