

방향성 결합구조의 음향파 도파로를 이용한 음향광학형 파장가변 광 필터의 부모드 억제에 관한 연구

임경훈 · 정홍식†

홍익대학교 전자전산공학과

Ⓛ 339-800 충남 연기군 조치원읍 신안동 산 34번지

(2000년 8월 24일 받음, 2000년 11월 22일 수정본 받음)

방향성 결합 구조의 음향파 도파로를 이용한 편광모드 변환형 파장가변 광 필터를 LiNbO₃와 Ti 이종 확산 공정 기술을 이용하여 제작하였다. 균일 결합 구조형 AOTF의 부모드의 크기를 두 음향파 도파로의 방향성 결합형 가중 결합 원리를 이용하여 8 dB정도 추가적으로 억제시킬 수 있었다. 1551.6 nm 파장의 TE, TM 입사 편광모드와 173.58 MHz, 17.78 mW RF 구동 신호 각각에 대해서 -12.68 dB 부모드 억압과 90% 변환효율이 측정되었다. 파장변화율과 통과 대역폭은 각각 8.86 nm/MHz, 1.7 nm로 측정되었다.

OCIS codes : 130.0130, 130.2790, 130.3060, 130.3120, 130.3730.

I. 서 론

파장가변필터는 WDM 광전송 시스템에 필요로 하는 핵심 부품중의 하나이다.^[1-3] 특히 LiNbO₃의 음향광학효과를 이용하는 AOTF(Acousto-Optic Tunable Filter)는 150 nm 이상의 파장 가변 범위, 1.5 nm 이하의 파장 통과대역폭, 수 μ s 정도의 비교적 빠른 스위칭 속도, 그리고 여러 파장채널을 동시에 선택할 수 있는 장점들을 보유하고 있음에도 불구하고 표면음향파(SAW: Surface Acoustic Wave) 구동에 필요한 RF 파워와 부모드(sidelobe)가 비교적 크다는 단점 때문에 실용화에 많은 제약을 받아왔다.^[4,5]

본 연구그룹은 AOTF의 광도파로 양측에 Ti 확산 공정을 통해 별도의 음향파 장벽을 만들어, 그 사이가 음향파 도파로(SAW guide)가 되는 구조의 AOTF를 제작하여 SAW의 구동 파워를 줄일 수 있었으며, 이를 음향파 장벽이 없는 구조의 AOTF와 특성을 비교하여 보고한 바 있다.^[6] 이때 RF파워를 약 90% 감소시키는 결과를 얻어냈지만, 두 구조 모두 AOTF의 광도파로를 통과하는 광파와 SAW가 균일 결합(uniform coupling: UC)을 이루기 때문에 부모드의 억제 효과는 기대할 수 없었다. 이 경우 이론적인 부모드 크기는 두 구조 모두 -9.4 dB로 계산되었지만, 측정결과는 음향파 도파로가 없는 AOTF에서 -4.26 dB, 음향파 도파로가 있는 AOTF에서 -4.72 dB로 비교적 크게 나타났다. 이 부모드의 원인은 균일 결합 구조의 경우에는 SAW의 급작스러운 생성, 소멸로 인해 생성된 광탄성 격자(photoelastic grating)와 진행하는 광자들이 충돌하여 발생하게 된다. 이러한 부모드를 줄일 수 있는 방법으로 SAW의 세기를 결합길이에 대하여 서서히 증가, 감소시키는 가중결합(weighted coupling: WC) 방법이 있으며, 이러한

구조를 'apodization'이라고 한다.^[7,8]

본 논문에서는 두 개의 음향파 도파로가 방향성 결합을 이루는 구조를 사용하여 부모드의 크기를 감소시킬 수 있는 가중 결합구조의 AOTF를 제작하였으며, 부 모드 레벨, 파장통과 대역폭, 편광모드 변환률, RF 구동 주파수 변화에 따른 파장가변 변화율 그리고 SAW 발생에 필요한 RF 구동파워를 측정하였다. 이를 음향파 장벽이 없는 AOTF, 균일 결합구조의 음향파 도파로를 갖는 AOTF와 상호 비교하였다.

II. 음향광학 효과에 의한 편광모드 변환 원리

AOTF의 동작은 SAW에 의해서 LiNbO₃ 표면에 생성된 복굴절 섭동(birefringence perturbation)이 광도파로를 진행하는 두 편광모드를 결합하여, 변환시키는 원리에 기초한다. LiNbO₃와 같은 복굴절 기판에 제작된 광도파로를 따라 진행하는 두 편광모드(TE, TM)는 유효굴절률 값이 같지 않기 때문에 진행하는 위상속도 또한 다르며, 이럴 경우에 두 편광모드간에 결합 효율은 매우 떨어지게 된다. 이러한 구조에서는 일반적으로 두 편광모드의 위상속도를 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_b 는 아래와 같이 정의된다.

$$L_b = \frac{\lambda}{n_{TE} - n_{TM}} = \frac{\lambda}{|\Delta n|} \quad (1)$$

여기서 n_{TE} 와 n_{TM} 은 TM, TE 편광모드의 유효굴절률이며, λ 는 광파의 파장이다. 교차지 트랜스듀서(IDT: Inter Digital Transducer)에 의해서 발생하는 SAW의 주기 Λ 가 식 (1)의

†E-mail: hsjung@wow.hongik.ac.kr

결합길이 L_b 와 같을 때 비로서 완전한 모드변환이 일어나며, 아래와 같은 수식으로 SAW의 주기를 정의할 수 있다.

$$\Lambda = \frac{V_s}{f_o} = \frac{\lambda}{|\Delta n|} \quad (2)$$

여기서 V_s 와 f_o 는 SAW의 위상속도와 구동주파수를 의미한다. 식 (2)에서 Δn 은 기판 내에서 균일하지 못한 물질 조성비, 기판의 온도 변화, 균일하지 못한 Ti 채널 패턴의 두께와 폭 때문에 야기되는 유효굴절률 변화에 의해서 민감하게 영향을 받는다. 이러한 현상이 광도파로를 따라 진행되는 편광모드간의 위상 부 정합을 일으키는 주요 원인이 되며, 궁극적으로 광 필터의 성능에도 심각하게 영향을 미치게 된다. 따라서 Ti 채널 패턴을 형성할 때 박막 두께가 균일하게 증착되도록 장비와 조건을 선택해야되며, 또한 채널 폭이 균일하게 형성될 수 있도록 세심한 주의가 요구된다. 한편, 식 (2)를 만족할 때 편광모드 변환은 공진 특성을 나타내며, 대응되는 파장대역폭 $\Delta\lambda$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta\lambda = \frac{0.8\lambda^2}{L_o \cdot \Delta n} \quad (3)$$

여기서 L_o 는 편광모드 변환이 일어나는 소자 전체 길이를 나타낸다.

III. 가중 결합 AOTF의 이론적 고찰

음향광학효과에 의한 편광모드변환은 아래와 같은 결합방정식을 이용하여 나타낼 수 있으며, 관련식은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{dR(x)}{dx} = -jk_o S(x) e^{-j\Delta\beta x} \quad (4-1)$$

$$\frac{dS(x)}{dx} = -jk_o R(x) e^{j\Delta\beta x} \quad (4-2)$$

R과 S는 TE와 TM의 정규화 복소 진폭이며, $\Delta\beta$ 는 TE, TM 모드간의 위상 부정합을 나타낸 것이며, 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta\beta = |\beta_{TM} - \beta_{TE} - K_{ac}| \quad (5)$$

식 (5)에서 β_{TE} , β_{TM} 은 TE와 TM 모드의 전파상수이며, K_{ac} 는 SAW의 전파상수이다. 여기서 β_{TE} , β_{TM} 의 차와 K_{ac} 가 일치하는 위상정합 조건이 성립된다면 TE, TM간에 편광모드 변환이 일어나며, 이때 위상정합에 적합한 광파의 파장은 복굴절률과 SAW의 주파수에 의해 결정된다. 음향광학효과에 의해서 광도파로를 따라 진행되는 편광모드간에 모드결합이 일어나며, 이때 결합세기의 정도는 결합계수 κ_0 에 의해서 결정되고, 다음과 같이 정의된다.

$$\kappa_0^2 = \frac{\pi^2}{2} \lambda^2 M I_a I^2 \quad (6)$$

λ 는 광파의 파장이며, I_a 는 광도파로를 가로지르는 음향파의 세기이다. I 는 TE와 TM모드와 음향파 간의 중첩(overlap)

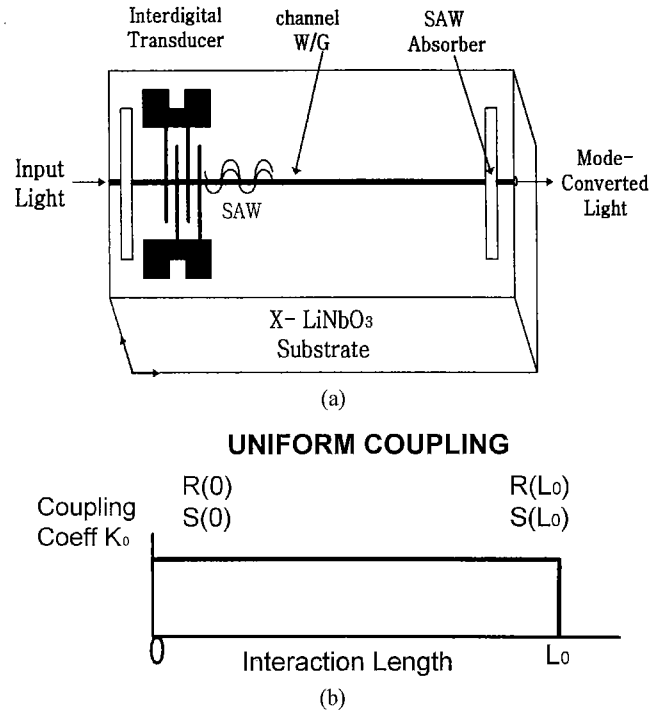


그림 1. 균일 결합 구조의 AOTF (a) 음향파 도파로가 없는 UC-AOTF의 모형도 (b) UC-AOTF의 결합길이에 대한 결합계수 κ_0 .

정도를 나타내는 상수이며, M은 음향광학효과의 비교지수 (figure of merit)로 다음과 같이 정의된다.

$$M = \frac{(n_{TE} n_{TM})^3 p^2}{\rho V_R^3} \quad (7)$$

ρ 는 기판의 매질 밀도, V_R 은 음향파의 속도, p는 광탄성 계수이며, LiNbO₃ 경우에는 p_{41} 에 해당된다.

3.1. 균일 결합 구조형 AOTF(UC-AOTF)

그림 1(a)는 결합 계수가 균일한 AOTF이다. 결합 계수는 그림 1(b)에서와 같이 결합 길이에 대하여 균일한 형태를 갖게되고 이때 식 (4)에 대한 해는 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{bmatrix} R(x) \\ S(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(x) & -jQ(x) \\ -jQ^*(x) & P^*(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(0) \\ S(0) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$P(x) = e^{-j\Delta\beta x/2} \left[\cos\left(\frac{x}{2}\sqrt{4\kappa_0^2 + \Delta\beta^2}\right) + \frac{j\Delta\beta}{4\kappa_0^2 + \Delta\beta^2} \sin\left(\frac{x}{2}\sqrt{4\kappa_0^2 + \Delta\beta^2}\right) \right] \quad (9-1)$$

$$Q(x) = e^{-j\Delta\beta x/2} \left[\frac{2\kappa_0}{4\kappa_0^2 + \Delta\beta^2} \sin\left(\frac{x}{2}\sqrt{4\kappa_0^2 + \Delta\beta^2}\right) \right] \quad (9-2)$$

그림 1(a)에서 입사 광파가 TM 모드일 경우 $R(0) = 0$ 에 해당됨, 결합길이 L_o 에 대한 모드변환 효율은 다음과 같이 정의된다.

$$\xi(x=L_o) = |R(x=L_o)/S(o)|^2 = |Q(x=L_o)|^2 \quad (10)$$

식 (8)로부터 편광모드 변환에 대한 전달함수는 아래와 같은 형태로 유도된다.

$$\eta(L_0) = \frac{\kappa_0^2 L_0^2}{(\kappa_0^2 L_0^2 + (\Delta\beta/2)^2 L_0^2)} \sin^2 \sqrt{(\kappa_0^2 L_0^2 + (\Delta\beta/2)^2 L_0^2)} \quad (11)$$

위 식에서 $\Delta\beta L_0$ 는 정규화 주파수로 정의되며, 일반적으로 3 dB 파장대역폭 $\Delta\lambda$ 와는 다음과 같은 관계를 갖으며, 결합길이 L_0 와는 반비례 특성을 나타낸다.

$$\Delta\beta \cdot L_0 = \frac{2\pi\Delta\lambda L_0}{\lambda\Lambda} \quad (12)$$

3.2. 가중 결합 구조의 AOTF

UC-AOTF에서 나타나는 부모드의 원인은 SAW의 급작스러운 생성, 소멸로 인해 생성된 광탄성 격자와 광도파로를 진행하는 광자들이 충돌하여 발생하는데 있다. 이로 인해 AOTF의 부모드 레벨을 억압시키기 위하여, Fourier 변환 분석에서 적용하고 있는 Gibbs 현상과 유사한 가중결합 기술을 적용하고자 한다. 즉 상호결합 구간에서 음향파가 급격하게 시작되고 끝나는 대신에, 점진적으로 증가하고 감소시킬 경우 부모드를 상당히 억압시킬 수 있다.^[9,10]

그림 2(a)와 같이 결합계수 $\kappa(x)$ 가 상호작용 길이에 따라 변하는 WC-AOTF의 응답 특성은 매트릭스 곱셈 방법에 의해서 계산될 수 있다. 이 방법에서 그림 2(b)와 같이 결합계수가 균일하지 않은 상호작용 길이를 N개의 매우 작은 구간 l_n 으로 나눈 다음, 각 구간에 대한 해를 식 (8)을 이용해서 계산할 수 있다. 각 구간 l_n 에 대해서 결합계수 κ_n 은 균일하다고 가정한다. 따라서 편광모드 R_n, S_n 이 l_n 구간을 통과한 후 출력된 모드 R_{n+1}, S_{n+1} 과의 관계는 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$\begin{bmatrix} R_{n+1} \\ S_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_n & -jQ_n \\ -jQ_n^* & P_n^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ S_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

P_n 과 Q_n 은 식 (9)의 x, κ_0 에 l_n 과 κ_n 을 치환할 경우 얻을 수 있다. 따라서 이와 같은 방법으로 N 구간에 대해서 고려할 경우, 전체의 응답특성은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R_N \\ R_N \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{n=0}^{N-1} \begin{bmatrix} P_n & -jQ_n \\ -jQ_n^* & P_n^* \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} R(0) \\ S(0) \end{bmatrix} \quad (14)$$

위와 같은 방법에서는 N 값이 크면 클수록 응답 특성을 정확하게 나타낼 수 있으며, 구간 l_n 을 L_0/N 으로 똑같이 나눌 경우 해석은 비교적 간단해진다. 한편 위상정합 $\Delta\beta=0$ 조건하에서 식 (14)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\prod_{n=0}^{N-1} \begin{bmatrix} P_n & -jQ_n \\ -jQ_n^* & P_n^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sum_{n=0}^{N-1} \varphi_{n0} & -j \sin \sum_{n=0}^{N-1} \varphi_{n0} \\ -j \sin \sum_{n=0}^{N-1} \varphi_{n0} & \cos \sum_{n=0}^{N-1} \varphi_{n0} \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서 $\varphi_{n0} = l_n k_n$ 으로 정의된다. 이 경우에 모드변환효율은 다음과 같다.

$$\eta(x=Nl_n) = \sin^2 \left[\sum_{n=0}^{N-1} (l_n k_n) \right] \quad (16)$$

여기서 N을 충분히 크게 하였을 경우 식 (16)의 완전한 모드 변환을 위한 조건은 다음과 같은 적분 형태로 나타낼 수 있다.

$$\left[\sum_{n=0}^{N-1} (l_n k_n) \right] = \int_{-L_{eff}}^{L_{eff}} \kappa(x) dx = \frac{\pi}{2} \quad (17)$$

L_{eff} 는 WC-AOTF의 유효 상호 작용거리이며, UC-AOTF 경우에는 $\kappa_0 L_0 = \pi/2$ 일 때 완전한 모드변환이 일어난다.

IV. 방향성 결합구조를 이용한 WC-AOTF의 설계 및 제작

WC-AOTF를 구현하는 방법에는 여러 가지 형태의 구조가 고려될 수 있지만, 본 연구에서는 부모드의 억제폭, RF 구동 파워, 그리고 패턴의 단순성과 참고문헌 [10]을 참조하여 방향성 결합구조의 음향파 도파로를 갖는 AOTF를 설계하였다. 그림 3에서의 같이 LiNbO₃ 기판 위에 Ti 확산으로 제작된 방향성 결합 구조의 음향파 장벽 안에 단일모드 광 도파로를 각각 배열시킨 구조이다. 이 때 IDT에서 발생된 SAW는 음향파 도파로를 진행하면서, 광파가 입사되는 광도파로에 위치한 음향파 도파로로 결합하며 이동하게 된다. 따라서 음향파와 이로 인해 구동되는 음향광학효과에 의해서 광도파로를 따라 진행

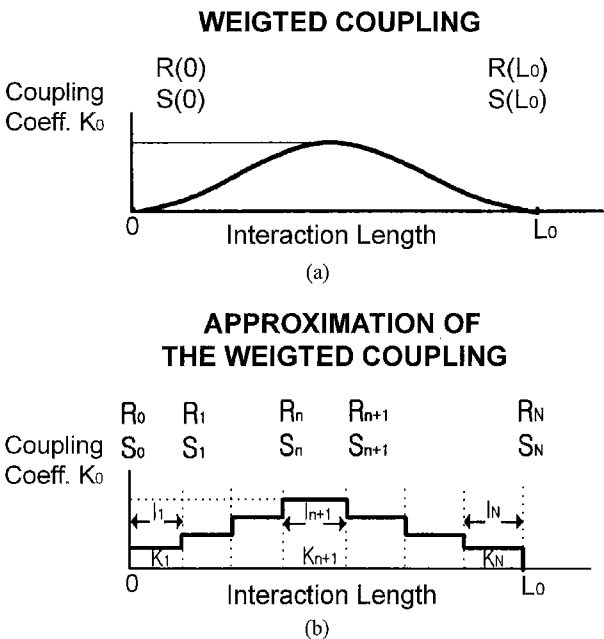


그림 2. (a) WC-AOTF의 결합 계수 분포 (b) 매트릭스 곱셈법을 이용하여 WC-AOTF의 결합방정식을 풀 때 사용되는 결합 계수 분포.

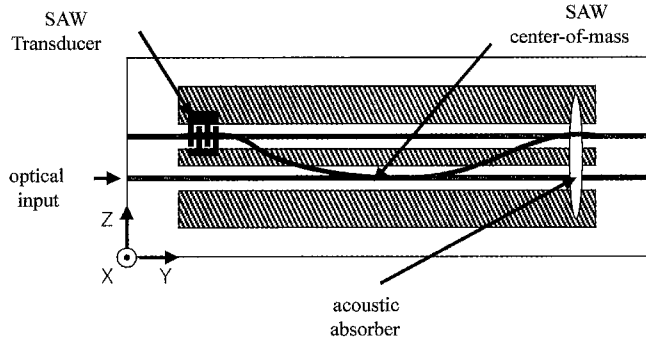


그림 3. 방향성 결합구조를 갖는 AOTF.

하는 두 편광모드간에 결합이 일어나게 된다. 이 때 두 음향파 도파로간의 SAW는 일정한 주기로 상호 결합하여 진행되며, 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{adj}(x) = P_{launch}(0) \sin^2\left(\frac{\pi x}{2 L_c}\right) \quad (18)$$

여기서 P_{adj} 와 P_{launch} 는 광파가 지나가는 음향파 도파로와 IDT가 배열된 음향파 도파로의 SAW 파워를 각각 나타내며, L_c 는 SAW의 파워가 완전히 옮겨가는데 필요한 결합길이이다. 따라서 결합된 SAW가 원래의 음향파 도파로로 되돌아 오는데 필요한 길이는 $2L_c$ 가 된다. 식 (6)에서 결합계수가 음향파 크기의 제곱근에 비례하는 관계를 적용할 경우, 방향성 결합 구조를 갖는 AOTF의 결합계수는 결합길이에 대하여 sine함수 형태로 주어지게 되고 정규화 주파수($=\Delta\beta \cdot L_0$)에 대한 전달함

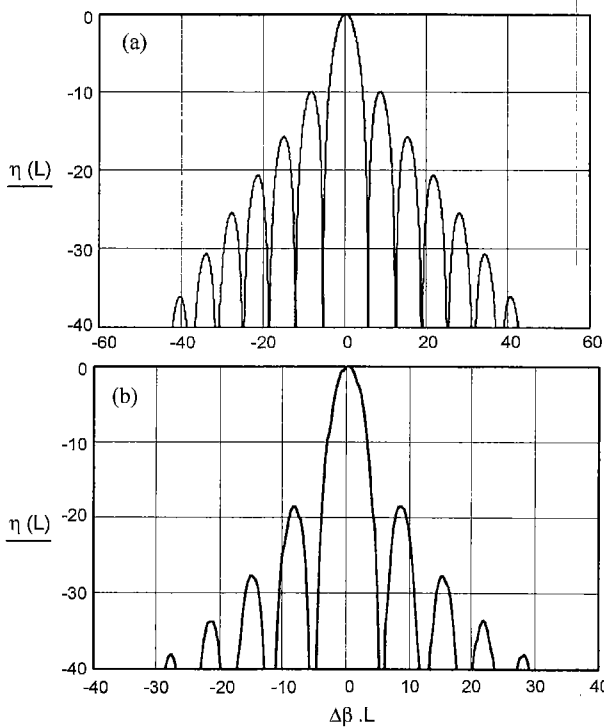


그림 4. AOTF의 전달특성($\eta(L)$ vs Normalized Frequency($\Delta\beta L_0$)). (a) UC-AOTF의 전달특성(최대 부모드 : -9.7 dB), (b) WC-AOTF의 전달특성(최대 부모드 : -17.5 dB).

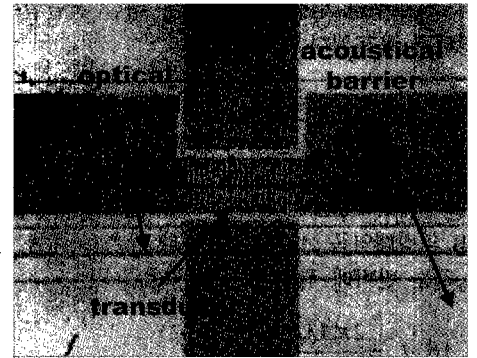


그림 5. 제작된 AOTF의 현미경 표면 확대 사진.

수 특성은 그림 4(b)와 같으며, 최대 부모드는 -17.5 dB로 계산되었다. 한편 그림 4(a) 부모드가 -9.7 dB를 나타내는 UC-AOTF의 전달함수이다. 따라서 방향성 결합구조를 갖는 AOTF의 경우 UC-AOTF에 비해 최대 부모드의 크기를 약 8 dB정도 억제할 수 있음을 이론적으로 확인하였다.

AOTF의 제작 공정을 단계별로 보면 X-cut LiNbO₃에 magnetron sputter로 ~1600 Å Ti을 증착한 다음 그림 3의 구조와 같이 음향파 장벽의 폭은 150 μm, 장벽간의 간격은 100 μm 그리고 두 음향파 도파로간의 간격은 50 μm로 패턴을 형성하고, 1050°C 온도에서 24시간 동안 wet-O₂ 분위기에서 확산하여 음향파 도파로를 제작하였다. 이어서 ~1000 Å Ti을 음향파 도파로가 제작된 기판위에 다시 증착한 다음 8 μm 폭의 Ti 채널 패턴을 형성하여, 다시 1050°C, wet-O₂ 분위기에서 8시간 동안 확산시켜 1550 nm 파장대역에서 단일모드 특성을 나타내는 채널형 광 도파로를 음향파 도파로 안에 형성하였다. 이어서 입사 및 출력 단면을 optical grade 수준으로 연마하였다. 최종적으로 주기개수 N=20, 개구면 간격 120 μm, 주기 $\Lambda=21.2 \mu\text{m}$ 구조를 갖는 IDT를 NiCr으로 제작하였다. 그림 5는 최종 제작된 AOTF의 현미경 확대 사진이다.

V. 측정 결과 및 분석

제작된 AOTF의 특성을 측정하기 위해서 Butt 결합시스템을 구성하였다. 광원은 1551.1 nm의 파장을 갖는 DFB-Laser와 1511-1581 nm범위의 파장 변화가 가능한 파장가변 레이저를 사용하였다. 입사되는 광원의 편광모드를 바꿀 수 있도록 편광조절기를 사용하였으며, 출력단에 편광분석기를 설치하여 특정 편광모드만 선택할 수 있도록 하였다. 또한, 실시간 측정을 위해서 DAQ 카드와 LabView 프로그램을 활용하였다. 소자를 측정하기전에 IDT에 의해서 구동된 SAW가 입·출력면에서 반사되는 것을 억제하기 위해서 입·출력단 전후에 scotch tape을 이용하여 absorber를 형성하였고 이것으로 식 (18)의 $2L_c$ 를 결정하였다.

모드변환이 최대가 되는 RF 구동 주파수로부터 ± 2 MHz 범위의 주파수를 변화시키면서 각 모드 파워를 측정하였다. 그림 6(a)는 1551.6 nm 파장을 갖는 TE 입사 편광모드에 대해서 SAW의 주파수를 변화시키면서 측정한 모드변환 특성을 나

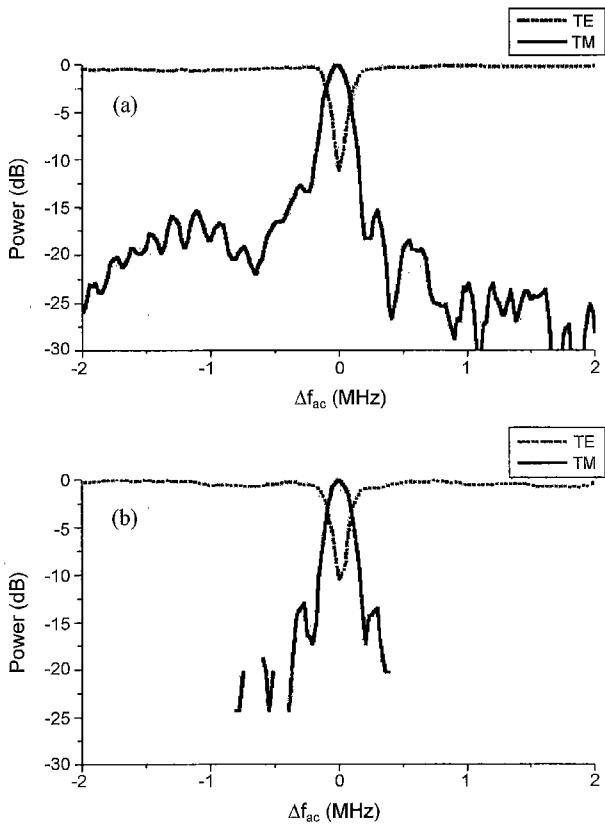


그림 6. (a) 1551.6 nm 파장의 TE 입사모드에 대해서 17.78 mW의 RF 구동 주파수를 변화시키면서 측정된 TE, TM 모드 파워, (b) 1551.6 nm 파장의 TM 입사모드에 대해서 17.78 mW의 RF 구동 주파수를 변화시키면서 측정된 TE, TM 모드 파워

타낸 것이다. 중심 주파수 173.58 MHz, RF 구동파워 17.78 mW에서 90%의 변환 효율이 측정되었다. 이때 가장 큰 부모드 레벨은 -12.68 dB로 측정되었다. 균일 결합 구조형 AOTF에서 보여준 -4.26 dB의 부모드 레벨을 8.46 dB 추가로 억제한 결과이다. 또한, 통과대역폭(FWHM)은 240 kHz(2.15 nm)로 측정되었다. 한편 그림 6(b)는 TM 입사 편광모드에 대해서 SAW의 주파수를 변화시키면서 측정한 모드변환 특성을 나타낸 것이다. 중심 주파수는 173.58 MHz, RF 구동파워는 17.78 mW에서 91%의 변환 효율이 측정되었다. 이때 가장 큰 부모드 레벨은 -12.97 dB로 측정되었다. 이 역시 균일 결합 계수형 AOTF가 갖는 -3.89 dB의 부모드를 9.08 dB 추가로 억제시킬 수 있었다. 이 때 통과대역폭(FWHM)은 220 kHz (1.95 nm)로 측정되었다. 부모드 억제의 이론치와 측정치간에 나타나는 차와 부모드가 비대칭적으로 나타나는 현상은 식 (2)의 조건에서 Δn 이 균일하게 유지되지 않기 때문에 나타나는 것으로 추정되며, 따라서 광도파로 제작시 Ti 채널 패턴의 폭과 두께, 그리고 기판의 온도를 균일하게 유지하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

다음은 파장가변 레이저를 이용하여 RF 주파수를 173 MHz로 고정시키고 TE 모드의 파장을 변화시키면서 측정한 결과가 그림 7과 같다. 이때 중심 파장 1554.24 nm에서 약 90%의

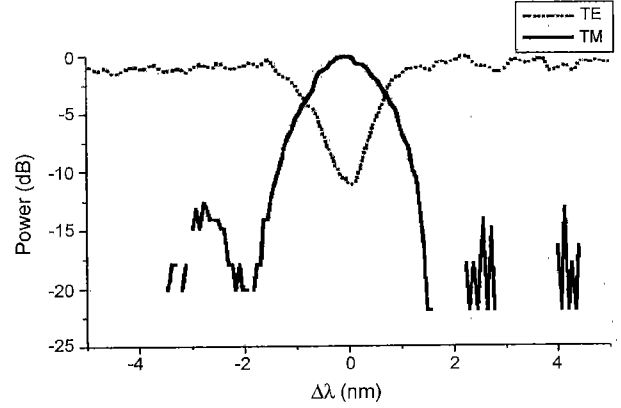


그림 7. 173 kHz, 17.78 mW의 RF 구동 신호에 대해서 TE 입사모드의 파장을 변화시키면서 측정된 TE, TM 모드 파워.

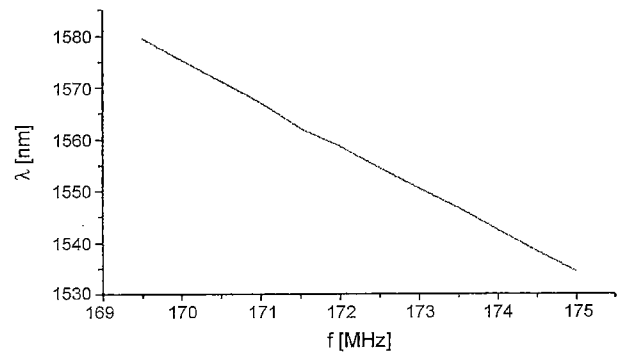


그림 8. TM 입사모드에 대해서 RF 주파수 변화에 따라 모드변환이 최대가 되는 파장의 변화.

변환효율이 측정되었으며, 이때 부모드 레벨은 12.58 dB로 측정되었다. 이 경우에 1.7 nm의 파장 통과 대역폭이 측정되었다.

그림 8은 TM 입사모드에 대해서 RF 주파수 변화에 따라 모드변환이 최대가 되는 파장의 변화를 측정한 결과로, 기울기에 해당하는 Tuning Rate가 8.86(nm/MHz)로 측정되었다. 이 실험에서 SAW의 구동에 필요한 RF 파워를 모두 17.78 mW로 고정시켰는데 이는 UC-AOTF와 같은 모드변환 효율로 소모되는 RF 구동파워를 비교하고자 하는데 있었다. 이 때 두 구조 모두 모드변환 효율을 90%로 유지하였다.

VI. 결 론

표 1은 WC-AOTF 실험의 결과를 UC-AOTF와 참고문헌 [10]의 결과와 비교 정리한 것이다. 음향파 도파로를 갖지 않는 UC-AOTF 비해 RF 구동파워를 약 80% 정도 억제할 수 있었지만 음향파 도파로를 갖는 UC-AOTF와 비교해서는 약간 증가하였다. 방향성 결합구조를 갖는 AOTF의 경우 부모드 레벨을 상당히 억제할 수 있었고, SAW의 구동에 필요한 RF파워도 적은 특징을 보였다. 한편 본 구조와 유사한 구조를 활용한 참고문헌 [10]의 결과와 비교해서는 부모드 억압이 약 2 dB 정도 작았지만, 구동 파워는 상당히 줄일 수가 있었다.

본 실험결과에는 통과대역폭이 DWDM(Dense WDM)에서

표 1. UC-AOTF와 WC-AOTF의 실험결과 비교

특성	AOTF		AOTF	AOTF	참고 문헌 [10]
	TE	TM	with No A/W	with A/W	
Side-lobe (dB)			-4.27	-4.26	-15
소멸비(dB)				-10.89	-8.38
RF 구동파워(mW)			92.04	10.97	17.78
모드변환효율(%)			91.8	85.8	91
FWHM (nm)			4.8	1.83	1.7
Tuning Rate (nm/MHz)				8.2	8.86

요구하는 1 nm 이하 수준에 조금 못 미치지만 AOTF의 경우 통과대역폭이 소자의 길이에 반비례하는 특성으로 볼 때, 소자의 길이로써 개선의 여지가 충분하고 WDM 통신 시스템에서 다양한 기능을 수행할 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

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

A study of the sidelobe suppression in an acousto-optic wavelength tunable filter utilizing a SAW-guide directional coupler

Kyung-Hoon Lim and Hong-Sik Jung[†]

Department of Electronics and Computer Engineering, Hong-ik University, Jochiwon 121-791, KOREA

[†]E-mail: hsjung@wow.hongki.ac.kr

(Received August 24, 2000 ; Revised manuscript received November 22, 2000)

We have demonstrated a ~8 dB additional reduction in the intensity sidelobe of an apodized-interaction-strength guide-wave acousto-optic filter with a center passband of 1551.6 nm. Acoustic-intensity weighting was achieved by launching a surface acoustic wave (SAW) beam in a straight acoustic waveguide, and gradually transferring this SAW intensity to the active device, and back out, by evanescent-wave coupling across a 50 μm barrier over a 19 mm interaction length. The intensity sidelobe was -4.27 dB for an unapodized filter with abrupt onset and cutoff of the interaction, but sidelobes were reduced to at most -12.68 dB for a SAW intensity with raised-cosine weighting. The RF driving power was 17.78 mW. A linear tuning rate of 8.86 nm/MHz and a spectral width of ~1.7 nm were demonstrated.

OCIS codes : 130.0130, 130.2790, 130.3060, 130.3120, 130.3730.

참고문헌

[1] F. Wehrman, C. Harizi *et al.*, J. Selective Topics in Quantum Elect. **2**(2), (1996).
 [2] F. Tian and H. Hermann, J. Lightwave Technology **13**(6), (1995).
 [3] J. L. Jackel, J. Lightwave Technology **14**(6), 1056 (1996).
 [4] D. A. Smith, J. E. Baran, K. W. Cheung, and J. J. Johnson, Appl. Phys. Lett. **56**(3), (1990).
 [5] 송석호, 정홍식, 한국통신학회 논문지, **23**(9B), (1998).
 [6] 임경훈, 정홍식, 한국광학회지, **11**(3), (2000).
 [7] A. Kar-Roy and C. S. Tsai, J. Lightwave Technology **12**(6), (1994).
 [8] A. Kar-Roy and C. S. Tsai, IEEE J. Quantum Electro. **30**(7), (1994).
 [9] A. Kar-Roy and C. S. Tsai, IEEE Photonics Technology Lett. **4**(10), (1992).
 [10] D. A. Smith and J. J. Johnson, Appl. Phys. Lett. **61**(9), (1992).