

# 음향파장벽을 이용한 음향광학형 파장가변 광여파기에 관한 연구

## A Study of Acoustic-Optic Tunable Wavelength Optical Filters Utilizing Acoustic Barrier

임경훈\*, 정홍식

전자전산공학과, 홍익대학교

hsjung@wow.hongik.ac.kr

파장분할다중 광통신시스템은 파장통과 대역폭이 좁으면서, 파장통과 대역을 넓게 가변시킬 수 있는 집적광학형 광여파기를 필요로 하고 있다. 지금까지 전기광학효과<sup>(1)</sup>, 스트레인광학효과<sup>(2)</sup>, 음향광학효과<sup>(3)</sup>들을 이용하여 다양한 형태의 광여파기들이 연구되어져왔다. 특히 음향광학효과를 이용한 편광모드변환형 가변파장 광필터(AOTF: Acousto-Optic Tunable Filter)는 150nm 이상의 넓은 파장가변 범위, 1nm 이하의 좁은 파장대역폭, 수  $\mu$ s 정도의 비교적 빠른 스위칭 속도, 그리고 여러 파장 채널을 동시에 선택할 수 있는 특성들 때문에 많은 연구가 진행되어져 왔다. 본 논문에서는 음향파 장벽(acoustic barrier)를 이용하여 표면 음향파(SAW: Surface Acoustic Wave)의 RF 구동파워를 감소시킬 수 있는 구조의 AOTF를 제작하고, 측정 결과를 음향파 장벽을 이용하지 않은 AOTF의 측정 결과와 비교, 검토하였다.

본 연구에서 고려된 음향광학형 TE $\leftrightarrow$ TM 편광모드 변환기는 그림 1과 같이 LiNbO<sub>3</sub> 기판위에 Ti 확산으로 제작된 음향파 장벽안에 단일모드 광도파로를 배열시킨 구조이다. Ti 확산된 영역에서는 SAW의 위상속도가 증가되어, 궁극적으로 음향파 장벽 구조에서 cladding 역할을 하게된다<sup>(4)</sup>. AOTF는 SAW에 의한 복굴절 섭동(birefringence perturbation)으로부터 야기되는 편광모드 결합을 이용하고 있다. 따라서 두 편광모드간에 위상정합이 만족될 때 완전한 모드 변환이 일어나게 된다. AOTF의 경우에는 SAW의 모멘텀이 편광모드간의 위상 부정합을 보상시켜서 완전한 모드변환이 일어나도록 한다. 이 경우에 SAW의 주파수( $f_a$ )와 광파장( $\lambda$ )간의 위상정합 조건은  $f_a = v_a \cdot \Delta n / \lambda$ 로 정의된au, 여기서  $v_a$ 는 SAW의 위상속도이며,  $\Delta n$ 은 편광모드간의 유효굴절률 차로 정의된다.

AOTF의 제작공정을 단계별로 요약하면 다음과 같다. X-cut LiNbO<sub>3</sub>에 magnetron sputter 증착기로 ~1600Å Ti을 증착한 다음 그림 1에 표시된 구조와 같이 폭 200 $\mu$ m, 간격 120 $\mu$ m 패턴을 형성하고 1050°C 온도에서 24 시간동안, wet-O<sub>2</sub> 분위기에서 확산하여 음향파 장벽을 형성하였다. 이어서 ~1000Å Ti을 음향파 장벽이 형성된 기판위에 증착한 다음 8 $\mu$ m 폭의 Ti 채널 패턴을 형성하여, 다시 1050°C, wet-O<sub>2</sub> 분위기에서 8시간 동안 확산시켜 1550nm 파장대역에서 단일모드 특성을 나타내는 채널형 광도파로를 음향파 장벽 사이에 형성하였다. 이어서 입사 및 출력 단면을 optical grade 수준으로 연마하였다. 최종적으로 주기개수 N=10, 개구면 간격 120 $\mu$ m, 주기  $\Lambda=21.2\mu$ m 구조를 갖는 IDT(Inter Digital) 전극 구조를 NiCr으로 제작하였다. 그림 2는 음향파 장벽 구조를 이용하여 제작된 AOTF의 확대 사진이다.

그림 3은 1551.62nm 파장을 갖는 TM 입사 편광모드에 대해서 SAW 주파수를 변화시키면서 측정된 TM 출력모드 파워와 변환효율을 나타낸 것이다. SAW의 구동 주파수는 171.9MHz, RF 구동파워는 51.3mW에서 96.9%의 변환효율이 측정되었다. 한편 TE 입사모드에 대해서는 구동 주파수 171.6MHz, 구동파워 51.3mW에서 98.3%의 변환효율이 측정되었다. 음향파 장벽에 의한 RF 구동 파워의 감소를 비교하기 위해서, 음향파 장벽이 없는 똑같은 구조의 AOTF를 제작하여 측정한 결과, TM 입사 모드에 대해서 RF 구

동 파워 270.4mW가 주파수 171.7MHz에서 측정되었다. 결론적으로 음향파장벽 구조를 이용할 경우 SAW의 구동전력을 80% 이상을 감소시킬 수 있었다.

소자	입사모드→출력모드	SAW 주파수 (MHz)	RF 구동파워 (mW)	변환효율 (%)
AOTF with Acoustic Barrier	TE → TM	171.6	51.3	98.3
	TM → TE	171.9	51.3	96.9
AOTF	TE → TM	172.6	270.4	90.6
	TM → TE	171.7	270.4	100

표 1. 음향파 장벽을 이용한 AOTF와 단순한 구조의 AOTF와의 성능 비교

1. F. Heismann, L. Buhl and R. C. Alferness, "Electro-Optically Tunable, Narrowband Ti: LiNbO<sub>3</sub> Wavelength Filter," Electron. Lett. 21, pp. 572, (1987).
2. 박석봉, 정홍식, "LiNbO<sub>3</sub>의 스트레인광학 효과를 이용한 모드변환형 광여파기 제작에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지, 제 35권, D편, 1호, pp. 72-78, (1998).
3. 송석호, 정홍식, "LiNbO<sub>3</sub> 음향광학효과를 이용한 파장가변 광여파기 설계 및 제작," 한국통신학회 논문지, 제 23권, 제 9호, pp. 2623-2630, (1998).
4. L. Binh and J. Livingston, "A wide-band acoustooptic TE-TM mode converter using a doubly confined structure," IEEE J. Quantum Electron., QE-16, pp. 964-971, (1980).

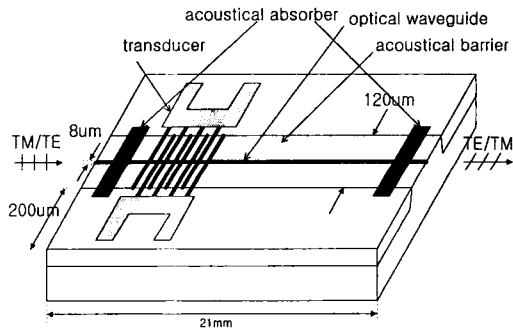


그림 1. 음향파 장벽 구조를 갖는 AOTF의 개략도

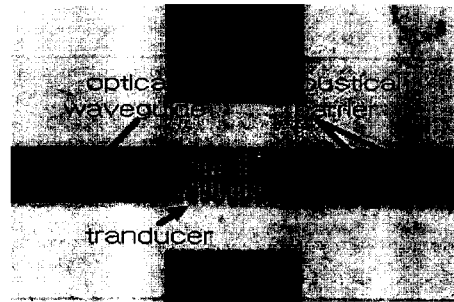
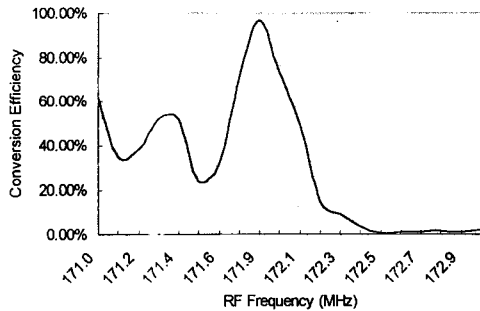
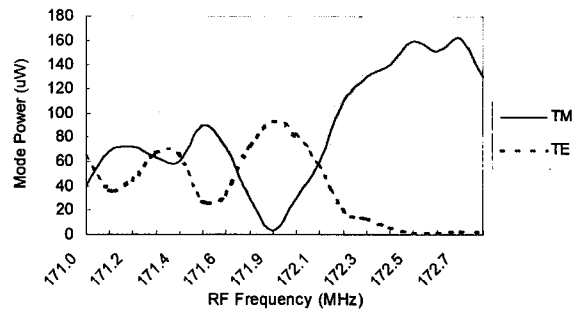


그림 2. 제작된 AOTF의 Photograph



(a) SAW의 주파수에 따른 모드변환효율



(b) SAW의 주파수에 따른 TE, TM 모드의 파워

그림 3. 음향파 장벽 구조를 이용한 AOTF의 측정 결과: 입사모드 (TM), 출력모드 (TE)