

광위상변조기 제작용 Single Channel 및 1° Y-branch Mach-Zehnder 간섭기형
Ti:LiNbO₃ 도파로 Pigtailling 및 도파실험

Pigtailling and Guiding Experiments of Single and 1° Y-branch Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder
Interferometric Optical Waveguide for Fabricating an Optical Phase Modulator

김성구, 전자부품종합기술연구소
정운조, 한려대학교 정보통신과
조재철, 초당대학교 전자공학과
박계춘, 목포대학교 전기공학과
이진, 목포대학교 전기공학과

Seong-Ku Kim, Korea Electronics Technology Institute
Woon-Jo Hung, Dept. of Inf.&Comm., Hanlyo University
Jae-Cheol Cho, Dept. of Chodang University
Gye-Choon Park, Dept. of Electrical Eng., Mokpo University
Jin Lee, Dept. of Electrical Eng., Mokpo University

ABSTRACT

We report some methods for measuring a LiNbO₃ optical phase modulator bandwidth. Since Mach-Zehnder waveguide type, one of methods for modulation bandwidth measurement, is comparatively simple and useful, it was adapted in this work. In order to confirm this method, the waveguides of single and Mach-Zehnder type were fabricated on the same wafer. The Mach-Zehnder interferometric waveguide and the single channel waveguide were used for the measurement of the phase modulator's driving voltage and bandwidth for device fabrications, respectively.

Ti-860 Å in-diffusion was achieved in a wet-bubbling oxygen environment at 1050°C/8hours. LiNbO₃ internal chips were pigtailed to PMF(polarization maintaining fiber)/SMF(single mode fiber) using an epoxy curing technique. Examined were optical properties such as an insertion loss, propagation loss and mode size, and the loss mechanism of optical coupling between an optical fiber and a waveguide was considered.

1. 서론

본 연구에서는 LiNbO₃ 광위상변조기의 변조대역폭을 측정하기 위한 방법을 논의하였다. Mach-Zehnder 간섭기형 광도파로를 이용한 광위상변조기 소자평가방법은 매우 간단하며 단일채널도파로와 동일조건으로 제작할 수 있어 소자평가에 더욱 경제적인 방법이 될 수 있다.

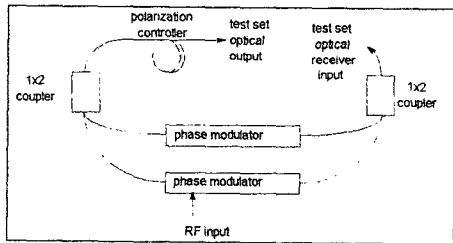
따라서 본 연구에서는 변조대역폭을 평가하기 위해 Ti 내부확산으로 광위상변조기용 및 변조대역폭 측정용 z-cut LiNbO₃ 광도파로를 제작하고, 제반특성을 연구하였다. LiNbO₃ 광도파로 평가는 광

도파로 입력부에 편광보존파이버(PMF, polarization maintaining fiber)를 피그테일링하고 광파장 1550nm를 입사시켰을때 근거리 도파광모드 및 도파로 출력부에 단일모드파이버(SMF, single mode fiber)를 피그테일링하여 편광에 따른 삽입손실을 분석하였다. 또한 제작한 광도파로와 광파이버간의 모드커플링 손실등을 실험에서 얻은 데이터로 전산모의실험하여 손실을 산정하였다.

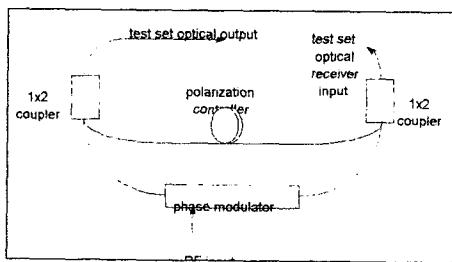
2. 광변조대역폭 측정방법, 제작 및 측정

광위상변조기(optical phase modulator)의 구동전

압과 변조대역폭 측정은 Mach-Zehnder 간섭기형 광강도변조기(optical intensity modulator)과는 달리 별도의 측정방법이 요구된다. 광위상변조기는 단일 편광만을 이용하는 소자임으로 측정장비(HP83420A)에서 출사되는 출력광 위상편광(phase polarization)을 변조하고자하는 도파로편광축과 정확히 정렬시켜야 한다. 그리고 측정장비와 파이버커플러(fiber coupler) 사이에는 그림 1(a)와 같이 단일 모드파이버 루프로 제작한 수동편광제어기(manual polarization controller)를 삽입하여 편광을 조절하며, 편광제어기와 위상변조기사이에 삽입된 1x2 커플러는 편광보존커플러(polarization maintaining coupler)로 제작된 것이어야 한다. 그리고 도파광은 정확히 동일편광상태로 두번째 커플러에서 재결합하도록 편광을 맞추어야 한다. 그림 1(a)에서는 부정확한 편광광을 최소화시키기 위해서 별도로 위상변조기 1개를 이용하여 간섭기(interferometer)형인 다른쪽 경로(arm)에 위치시키고 편광기(polarizer)로서 사용하는 방법이며, 또 다른 방법으로 그림 1(b)에 나타낸 바와 같이 간섭기 경로(arm)에 단일모드 편광제어기를 사용하는 방법이 있다.



(a) 방법 i



(b) 방법 ii

그림 1. 광위상변조기 변조대역폭 측정방법. (a) 방법 i (b) 방법 ii

Fig. 1. Bandwidth measurement sets of optical phase modulator. (a) 방법 i (b) 방법 ii

지금까지 두가지 방법은 소자측정마다 매번 fusion splicing을 실시해야 함으로 매우 번거롭고 PMF의 편광방향을 정렬하여 피그테일링해야 한다. 따라서 본 연구에서는 측정에서 문제를 해결하고 입출력 양쪽에 사용하는 커플러를 제거하는 방법으로 포토마스크에 광위상 변조기용 단일채널 광도파로 설계와 별도로 마스크에 구동전압 및 대역폭 측정용 Y-branch 1°-Mach-Zehnder 간섭기를 설계하고 제작하여 소자특성 측정에 편리를 도모하고자 시도하였다(그림 2 참조).

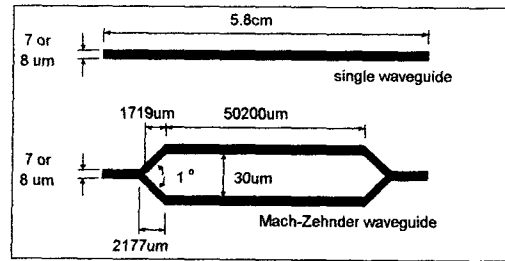
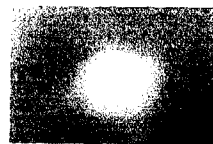


그림 2. 도파로 제원.

Fig. 2. Waveguide dimensions

3. 결과 및 고찰

그림 3은 광파장 1550nm에서 측정된 단일채널 8 μm 와 1° Y-분기 마크젠다 도파로의 근거리패턴을 나타낸 것이다. 단일채널 및 마크젠다 도파로 모두 매우 양호하게 도파되고 있음을 알 수 있었다. 특이한 점은 Mach-Zehnder 간섭기 도파로에서 도파광 세기는 TE 모드가 매우 강하게 도파 되었으나, 채널형 7, 8 μm 도파로에서는 TM 모드가 TE 모드 보다도 광세기가 강하게 측정되었다. 표 1에 모드크기를 표 2에 전체손실을 나타내었다.



(a)



(b)

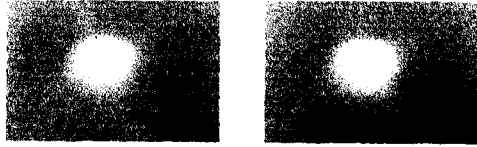


그림 3. 근거리 패턴. 단일채널 (a) TM (b) TE : 선폭 7 μm , 마크젠다형: (c) TM (d) TE : 선폭 8 μm
 Fig. 3. Near field patterns. single channel : (a) TM (b) TE, Mach-Zehnder : (c) TM (d) TE

표 1. 모드 크기
 Table 1. Mode size

mode wavelength	TM		TE	
	horizontal	vertical	horizontal	vertical
1490nm	9.80 μm	7.1 μm	11.8 μm	7.5 μm
1550nm	10.6 μm	7.6 μm	12.3 μm	7.8 μm
1590nm	11.6 μm	7.8 μm	12.3 μm	8.0 μm

표 2. 피그테일링 완료 후 fiber-to-fiber 삽입손실
 Table 2. Fiber-to-fiber insertion loss after pigtailling

	mode	측정값/SM 단위	전체손실	전송손실
1490 nm	TM mode	1.35mW/6.68mW	-6.94dB	0.75dB/cm
	TE mode	1.37mW/6.68mW	-6.88dB	0.73dB/cm
1550 nm	TM mode	1.56mW/7.6mW	-6.87dB	0.73dB/cm
	TE mode	1.58mW/7.6mW	-6.82dB	0.73dB/cm
1590 nm	TM mode	1.29mW/6.68mW	-7.14dB	0.78dB/cm
	TE mode	1.35mW/6.68mW	-6.94dB	0.75dB/cm

모드 측정시 두 개 orthogonal polarization인 TE 및 TM 의 peak point가 일반적으로 일치되지 않는다. 따라서 광파이버와 광도파로 피그테일링시 에 두 광축이 일치하지 않아 한쪽 편광 광손실 최소점에서 다른쪽 편광의 최소손실로 산출되지 않고, 약간씩 종 및 횡방향으로 어긋났을 때 최소손실을 보이게 된다. 이와 같이 TE 및 TM 모드가 가장 잘 커플링되는 최적 point가 달라서 피그테일링은 이용하고자 하는 편광모드를 최적으로 커플링되는

점에서 접속시켜야 한다.

이와같이 도파로가 지원하는 더욱 낮은 손실을 나타내는 커플링 point가 있음에도 불구하고 소자 패키징 완료 후 TE 및 TM 모드 손실은 차이를 보이게 되는 불리한 점을 극복하기 위해서는 TE 및 TM 두 개 편광손실이 비슷하게 되는 제작조건을 조사해야하며, 이 점은 도파로형 광필터를 제작하는 경우, 매우 중요한 사항이 된다.

파이버 및 도파로 모드전계강도(mode field amplitude)를 각각 $F(x,y)$, $W(x,y)$ 라고 할 때(광의 유효반경은 전력밀도(power density)가 $1/e^2$ 로 떨어지는 점 또는 전계(electric field) 최대치의 $1/e$ 가 되는 점이다. 커플링효율(coupling efficiency), η 는 다음과 같은 정규화 field 중첩적분(normalized field overlap integral)로부터 구할 수 있다[3, 6].

$$\eta = \frac{\left| \int \int F(x,y)W(x,y)dx dy \right|^2}{\int \int F^2 dx dy \int \int W^2 dx dy} \quad (1)$$

(1)

먼저 광파이버와 광도파로가 일치하는 최대전력 점(peak power position)에서 (1)식을 산출하고 모드의 horizontal 성분을 고정 후 vertical 성분 위치를 변화시켰을 때 결합효율을 산정하였다. 일반적으로 TE 및 TM 모드 수직성분을 비교해 보면 TM 모드 peak가 TE 모드 피크보다도 기판표면에 밀착되어 있으며, TE 모드는 기판 깊이 방향으로 더욱 길게 꼬리를 가지고 분포한다. TM 모드가 입력되었을 때 커플링손실이 최소가 되는 위치를 알아보기 위해서 종방향으로 광파이버를 움직이면 선폭 8 μm 마크젠다 간섭기형 도파로에서는 종방향 1.1 μm 지점에서 모드 불일치로 인한 커플링이 최소가 되고 약 -0.081dB를 갖는 것으로 나타났다. 선폭 7 μm 인 채널형 도파로에서는 종방향 0.7 μm 깊이에서 0.14dB를 나타내 선폭이 짧을수록 종방향 깊이가 적어지는 경향을 나타내었고 도파로폭이 짧을수록 커플링손실이 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 비교적 커플링손실은 매우 작은 값을 보였고 앞에서 고찰한 선폭 7 μm 채널도파로의 커플링손실+정열부

정합손실은 TM/TE가 0.59dB/0.8dB로 계산되었는데, 여기서 계산한 TM 모드 커플링손실을 제외하면 출력측 정열부정합손실은 0.45dB(0.59-0.14)로 계산되었다. 따라서 도파로 피그테일링 기술을 숙련시킴으로써 ≈ 0.5 dB 정도 fiber-to-fiber 삽입손실을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었고, 앞에서 입력측 정열부정합손실은 무시했으나 이를 근거로 1dB 정도 정열부정합손실이 존재하는 것으로 추정되었다.

4. 결 론

광위상변조기의 구동전압 및 변조대역폭을 쉽게 측정하기 위한 방법으로서는 간격이 넓은 Mach-Zehnder 간섭기형 광도파로를 이용한 방법을 제시하였고, 이를 검증하기 위한 절차로 채널형 광도파로를 동일 마스크에 설계 및 제작하여 피그테일링하였으며 근거리패턴, 삽입손실, 도파로 전송손실 및 손실메카니즘을 분석하였다. 이 실험을 기초로 양호한 도파로 제작조건을 확립하고 저손실 패키징기술을 개발하는데 응용할 수 있을 것으로 사료되며, 아래에서는 광파장 1550nm에서 도출된 결과를 요약하였다.

- ① 도파로 설계제원은 단일채널도파로 $7/8\mu\text{m}$ 와 Mach-Zehnder 간섭기형 도파로 $7/8\mu\text{m}$ 이다.
- ② Mach-Zehnder 간섭기형 도파로 선폭 $8\mu\text{m}$ 는 TM/TE 전송손실이 2.0/1.6dB/cm였으며, 모드 횡/종모드는 각각 TM(12.67/9.17 μm), TE(11.0/7.83 μm)이었다. 선폭 $7\mu\text{m}$ 도파로는 TE 전송손실 2.1dB/cm였고 모드 횡/종크기는 각각 TM(10.2/8.8 μm), TE(11.3/8.2 μm)이었다.
- ③ 채널형 도파로 $7\mu\text{m}$ 의 TM/TE 전송손실은 0.73/0.73dB/cm였으며, TM 모드 전체 fiber-to-fiber 삽입손실 6.87dB였고 이 중에서 TM 모드 excess 손실은 2.14dB, TM 모드 커플링손실 0.14dB 정열부정합손실 0.45dB로 나타났다.

참고문헌

- [1] J.L.Jackel, C.E.Rice, and J.J.Veselka, "Proton exchange for high-index waveguides in LiNbO₃", Appl.Phys.Lett.,Vol.41, pp.607-608, 1982.
- [2] J.J.Veseka and G.A.Bogert, "Low insertion

loss channel waveguides in LiNbO₃ fabricated by proton exchange", Electron. Lett., Vol.23, pp.265-266, 1987.

[3] Edmond J. Murphy, Trudie C. Rice, Leon Mccaughan, George T. Harvey, and Peter H. Read, "Permanent attachment of single-mode fiber arrays to waveguides", J. of Lightwave Tech., Vol.LT-3, No.4, pp.795-799, 1985.

[4] J.Albert and G.L.Yip, "Insertion loss reduction between single-mode fibers and diffused channel waveguides", Appl.Opt., Vol.27, No.23, pp.4837-4843, 1988.