

z-cut Ti:LiNbO₃ 광변조기 내부칩 제작 및 특성평가

김성구(金成求), 윤형도(尹炯道), 이한영(李漢漢)
전자부품연구원 통신부품연구센터
전화 : (0333) 610-4350 / 팩스 : (0333) 610-4126
박계춘(朴桂春), 이진(李進), 강성준(姜聲俊)
목포대학교 공과대학
전화 : (0636) 450-2464 / 팩스 : (0636) 450-2460

Fabrication and Characteristics of z-cut Ti:LiNbO₃ Internal Chip for Optical Modulator

Seong Ku Kim, Hyung Do Yoon, Han Young Lee
Korea Electronics Technology Institute
E-mail : kimking@iccnet.co.kr
Gye Choon Park, Jin Lee, Sung Jun Kang
MokPo Nat. University
E-mail : pgccgp@chunkye.mokpo.ac.kr

Abstract

In this paper, we report characteristics of a internal chip of LiNbO₃ modulator with low-driving-voltage at 1550nm wavelength. A Ti diffusion method for LiNbO₃ optical waveguide and a buffer layer for improving phase velocity mismatch between optical and microwave waves were employed. The traveling-wave coplanar waveguide electrode of 35mm is used for reducing the driving voltage. From this work, wideband modulation of 10GHz and low-driving voltage of 3.9volts are realized.

I. 서론

LiNbO₃ 광변조기에서 가장 중요한 동작성능지수는 광-3-dB-변조대역폭과 구동전력(전압)이다. 이 두 factor 간에는 trade-off 관계가 있으며, 결과적으로 특성지수 대역폭/구동전압의 비율을 높이는 쪽으로 개선이 이루어져야 한다[1]. 진행파형 광변조기에 있어서 이러한 광파와 마이크로파간의 속도차에 의한 단점들

을 극복하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되었고, 그 성능지수도 변조대역폭 75GHz까지 이룩된 상태이다[2].

지금까지 발표된 진행파형 광변조기에 관련된 문헌들에 기초하여 광변조기 내부칩을 제작해보았을 때, 전기적특성이나 광학적특성들은 거의 10GHz 이상의 양호한 성능을 보인다. 그러나 내부칩을 활용하여 패키징했을때, 최적화되지 않는 패키징으로 인해서 그 성능지수가 크게 반감하게 되며, 결국 불완전한 소자를 양산하게 된다. 본 연구를 통하여 알 수 있었던점은, 재현성 있는 내부칩제작도 중요하지만, 결과적으로 최종패키징 단계에서 광변조기의 성능이 좌우되고 있었음을 알 수 있었고, rf 입력단과 커넥터사이의 전기적 기생용량이 발생되지 않고 손실없는 접속하는 것이 매우 중요하였다.

II. Ti:LiNbO₃ 광변조기 내부칩 제작

광섬유에 유도되는 비선형특성인 SBS(stimulated brillouin scattering)현상은 매질의 phonon과 빛의 상호작용에 의해서 입사광이 산란되는 현상으로 신호광

과 역방향산란이 발생하기 때문에, 고출력 신호광을 광섬유에 입사시켜 광전송시스템의 거리를 길게 하기 위해서는 SBS 현상에 의한 신호외곽을 없애야하는데 [3], 본 연구에서는 위상변조를 통해서 개선하고자 광 변조기 설계시 입력부분에 위상변조기를 설계하였다. 그러나 본 논문의 목표는 광강도변조기의 성능에 제한한 것으로 그 결과를 서술하고자 한다.

본 연구에서 설계한 내부칩은 위상변조를 통해서 선풍을 증가시켜 SBS를 억제하고자 위상변조기를 lumped type으로 설계하였고, 캐리어 광원을 변조하고자 진행파형 CPW 전극을 채용한 Mach-Zehnder 간섭기형 광변조기를 직렬로 설계하여, 1개 chip에 집적되도록 하였다.

광캐리어 매개체인 광도파로는 다음과 같은 조건으로 제작하였으며, Ti 확산시 유입되는 개스량의 정확한 제어가 매우 중요하다. 본 연구에서는 E-beam evaporation 으로 Ti을 0.5-1A/sec 정도로 증착하였다.

- ① Ti 선폭 : 8 μm
- ② Ti 두께 : 1050 \AA
- ③ 확산온도/시간 : 1050 $^{\circ}\text{C}$ / 8hours
- ④ 확산분위기 : wet O_2 , foldering method

위와 같은 조건으로 제작한 광도파로는 파장 1550 nm에서 단일모드 조건을 만족하였고, Mach-Zehnder 간섭기의 간격은 15 μm 이다. 간섭기 Y-branch의 각도는 0.5 로서 설계하였다. 그림 1에 이에대한 사항을 나타내었으며, 그림 2에 광도파로 및 전극을 제작하고, dicing으로 내부칩을 완성 한 후, 전극 및 변조대역폭을 측정하기 위하여 Ag-paste로서 간단하게 패키징한 것이다. 그림 2(a)는 위상변조기의 rf 입력단이고, 그림 2(b)는 강도변조기의 DC bias 부분이다. 그리고 그림 2(c),(d)는 각각 강도변조기의 rf 입력단 및 종단 부분이다. 종단저항은 50 Ω 순수저항치로 종단하였다. 표 1에 사용한 소자 demension을 나타내었다. 광강도 변조기의 상호작용거리는 구동전압을 낮추기 위해서 35mm로 설계하였다.

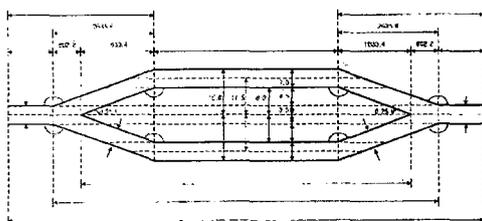


그림 1. Mach-Zehnder 간섭기형 광도파로 구조
Fig. 1. Structure of Mach-Zehnder Interferometric waveguide

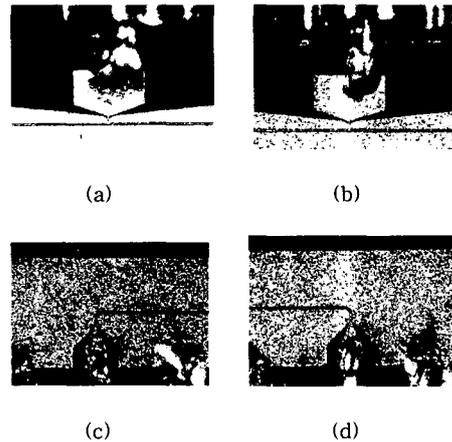


그림 2. CPW형 광강도변조기 내부칩 구조
Fig. 2. Sturcture of CPW type optical intensity modulator.

표 1. 소자제원
Table 1. Device parameters.

parameters	phase modulator	intensity modulator	
		active-layer	D.C.-bias
interaction length	12656.3 μm	35000 μm	1100 μm
electrode type	lumped	traveling-wave type	lumped type
waveguide	single channel	MZ	MZ
electrode thickness	8 μm /15 μm 6 μm	8 μm /15 μm	8 μm /15 μm 6 μm
buffer layer	SiO ₂ 1 μm		
diffusion	1050 $^{\circ}\text{C}$, 8hours, wafer foldering method		

사용한 기판은 z-cut 으로서 -z 면을 사용하여 그림 3(a)와 같이 제작하였다. 그림 3(b)는 dicing cutter로 소자별로 절단하고 일부를 확대한 것이다. 그림 4는 변조기 내부칩을 90 $^{\circ}$ 폴리싱하고, 마이크로캐필러리를 사용하여 uv-epoxy로 접속한 pigtailling 사진이다.

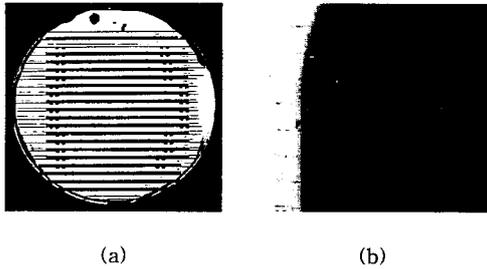


그림 3. 사진 및 절단부분사진
Fig. 3. Photographs of 3-inch wafer and dicing



그림 4. 내부칩 90° 폴리싱 및 피그테일링
Fig. 4. Pigtailling and packaging

III. 특성분석

그림 5는 피그테일링하기 전에 광도파로 입력에 1550nm 광원을 정렬하고, 도파시켰을 때 출사된 근거리패턴이다. 그림 5(a)는 간섭기를 도파한 후 최종적인 TM 모드 패턴이고, 그림 5(b), (c)는 출사되는 Y-branch 영역에서 두 도파로가 합쳐지는 부분의 도파패턴이다. 그리고 그림 5(d)는 두도파로가 완전히 갈라지기 바로 직전의 Y-분기에서 광파의 거동을 나타낸 것이다. 그림 6은 제작된 내부칩의 전기적특성으로서, 변조대역폭 20GHz까지 -10dB이하의 변조대역폭을 보여주고 있고, 그림 6(b)의 TDR 특성으로부터 active region의 특성임피던스는 거의 50Ω에 가까이 분포하고 있었으며 계산된 마이크로파 유효굴절율은 2.28로 광파의 유효굴절율인 2.2에 근접하고 있었다. 전극특성으로부터 도금된 Au의 감쇠정수는 0.61 dB/cm√GHz이다. 그림 7은 입력삼각파를 5Hz 및 1kHz로 하였을 때 파장 1550nm에서 구동전압특성을 나타낸 것이다. 약 3.9-4volts 정도를 나타내었다.

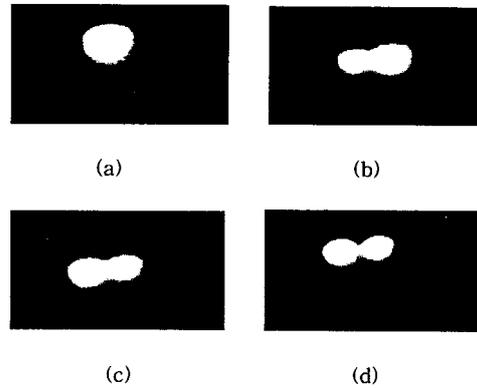


그림 5. 광도파로 근거리패턴
Fig. 5. Near-field pattern of optical waveguide

그림 8은 부분 패키징된 소자의 변조대역폭을 나타낸 것이다. Optical 3-dB bandwidth가 약 10GHz를 넘고 있다. 점선부분은 -3dB LINE이며, 굵은 실선은 측정치이다. 전극길이가 35mm로서 대단히 길지만 구동전압은 4volts 이하로 효과적으로 낮출 수 있었다. 변조대역폭 관점에서 구동전압을 약간 희생하고 전극길이를 짧게 하면, 변조대역폭은 10GHz이상 늘어날 것임을 trade-off 관계로부터 유추할 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 집적형 광변조기 내부칩을 제작하고, 그 중 광강도변조기의 성능에 관하여 측정된 결과를 나타내었다. 앞으로 변조기의 소광비를 개선하기 위해서 경사폴리싱에 대한 연구와 및 온도범위 0°C-60°C에 대한 환경 테스트를 보완하면 좋은 결과가 있을 것으로 예상된다.

- ① 전체삽입손실 : < 4dB
- ② 구동전압 : 3.9 volts
- ③ 변조대역폭 : 10 GHz
- ④ 특성임피던스 : 42Ω
- ⑤ 유효굴절율 : 2.28
- ⑥ 감쇠정수 : 0.61dB/cm√GHz

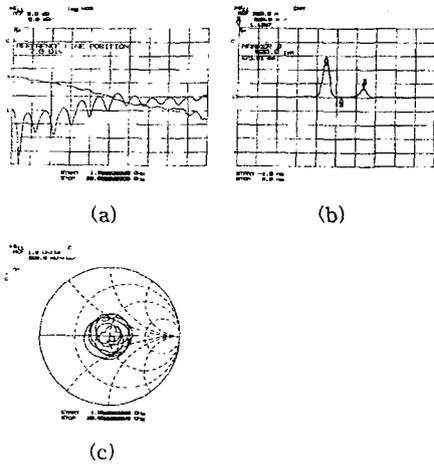


그림 6. CPW 전기적특성
Fig. 6. Electrical Properties of CPW

power LiNbO₃ external optical modulators", NTT REVIEW, Vol.1, No.4, pp.103-113, 1989.

- [2] O.Mitomi, K.Noguchi, and H.Miyazawa, "Ultra-broadband and low driving voltage LiNbO₃ optical modulators for optical transmission systems", ? 104.1, pp.116-117, 1997
- [3] Yasuhiro Aoki, Kazuhito Tajima, and Ikuo Mito, "Input power limits of single-mode optical fibers due to stimulated brillioun scattering in optical communication systems", J. of Lightwave Tech., Vol.6, No.5, pp.710-718, 1988.

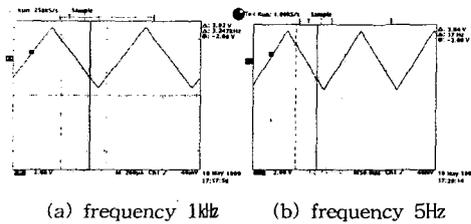


그림 7. 구동전압
Fig. 7. Driving-voltage

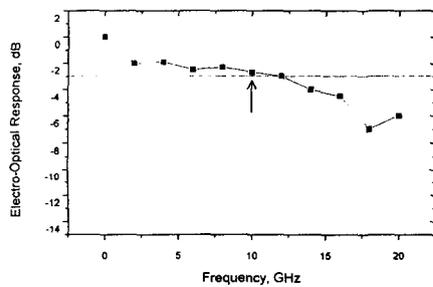


그림 8. 변조대역폭
Fig. 8. Modulation bandwidth

참고문헌

- [1] K. Kawano, T. Nozawa, M. Yanagibashi and H. Jumonji, "Broad-band and low-driving-voltage