

광대역 광통신용 5 Gbps급 APE:LiNbO₃ 광위상변조기 개발

Development of 5 Gbps APE:LiNbO₃ Optical Phase Modulator for a broadband optical communications

김성구, 전자부품종합기술연구소
 윤형도, 전자부품종합기술연구소
 윤대원, 전자부품종합기술연구소
 유용택, 전남대학교 전자공학과

Seong-Ku Kim, Korea Electronics Technology Institute(KETI)
 Hyung-Do Yoon, Korea Electronics Technology Institute(KETI)
 Dae-Won Yoon, Korea Electronics Technology Institute(KETI)
 Yong-Tek Yoo, Dept. of Electronics Eng. Chunnam University

ABSTRACT

A 5Gbps LiNbO₃ optical phase modulator was packaged and described. A APE(annealed proton exchange) method was employed for the optical waveguide and the electrode of ACPS (asymmetric coplanar strip) type was formed by electro-plating on LiNbO₃ for applying microwave signal. The resulted phase modulator exhibited a single mode at a 1550nm wavelength and its modulation bandwidth, insertion loss and driving voltage showed 7GHz, 3.0dB and 6V, respectively.

1. 서론

광통신시스템이 광대역화되고 전송능력을 증대시키기 위해서 국내외적으로 LiNbO₃ 외부변조기에 대한 연구가 활발하게 진행되어 광시스템 실현에 중요한 위치를 차지하게 되었다.

본 연구에서는 high speed communications, coherent optical communications, optical signal processing 및 radar system 등에 이용되는 광위상변조기(optical phase modulator)에 관한 연구로서 전산모의실험, 전극설계 및 패키징특성에 관하여 논의하였다.

2. 실험 및 결과

굴절율을 식(1)로 표시할 때 비등방성 매질내 진행파형 전극구조를 따라 흐르는 마이크로파 전파는 의사-TEM(quasi-TEM) 모드로 가정하고 또한 전송선로에서 주파수가 매우 높은 기가급인 경우 특성임피던스 및 마이크로파 유효굴절율은 식(2),(3)으로 표현한다 여기서 v_o 는 자유공간에서 광파속도이고 v_m은 도파 매질에서 마이크로파 속도이다. c_o, c_m은 매질 및 자유공간에서 전극에 의한 정전용량이다. 구동전압은 변조기를 FULL-ON에서 FULL-OFF로 동작시키는데 요구되는 전압이고 식(4)로 표현한다. λ는 광파장, G는 전극간격, Γ는 도파광과 외부전계사이의 중첩된 적분값이며 최대 1을 갖는다. 중첩적분의 표현식은 식(5)와 같고 z-cut 인 경우 기판에 대해서 위-아래 방향으로 편광된 TM

모드를 이용하기 때문에 도파되는 광형상은 헬름-가우시안(Hermite-gaussian)형태로 도파되며, x-cut 인 경우 도파광은 기판에 대해 수평방향으로 편광된 TE 모드인 가우시안(Gaussian)형태로 도파된다. 식(5)에서 E_{op}는 광도파로를 진행하는 광전계이고, E_{el}은 변조전계이다. 감쇠정수는 식(6)로 표시하며 R(f)는 주파수함수로 전송선로의 단위길이당 직렬저항이다. 변조기의 가장 중요한 특성인 변조대역폭은 강도가 3dB 만큼 감소하는 점을 취하며 간략화된 변조대역표시법은 식(7)에 나타내었다.

$$\Delta n = 1 \left(\frac{1}{2} \right) n_{33} r_{33} E_3 \quad (1)$$

$$\frac{Z}{v_m \cdot C_c} = \frac{1}{v_o \sqrt{C_o C_c}} \quad (2)$$

$$n_m = \frac{v_o}{v_m} = \sqrt{\frac{C_c}{C_o}} \quad (3)$$

$$V = \frac{\lambda(2G)}{2(n_{33} r_{33} L \Gamma)} \quad (4)$$

$$\Gamma = \frac{2G}{V} \frac{\iint E_{op}^2 E_{el}^2 dx dy}{\iint E_{op}^2 dx dy} \quad (5)$$

$$\alpha(f) = \alpha_o \sqrt{f} \quad (6)$$

$$B = \frac{1.4c}{\pi L(n_m - n_o)} \quad (7)$$

본 연구에서는 간략히 표현된 수치해석을 바탕으로 5Gbps 급 동작용 광위상변조소자를 구현하기 위해 설계사항을 조사하여 소자구조를 채택한 다음 표 1에 그 내용을 나타내었다. 일반적으로 소자 임피던스매칭은 CPW(coplanar waveguide)나 CPS (coplanar strip) 보다도 ACPS(asymmetric coplanar strip)가 보다 용이하기 때문에 소자구조는 ACPS를 채택하고 임피던스 조절은 버퍼층두께를 최대로 활용하였으며 이로 인한 구동전압의 증가를 보상하기 위해서 상호작용길이를 5cm로 설계하였다.

모의실험결과 특성임피던스는 42Ω로 산출되었으며, 유효굴절율은 1.865, 중첩인자 및 감쇠정수는 0.270과 $2.06 \times 10^{-7} \sqrt{f}$ 로 산출되었고, 위상변조기의 구동전압은 7V 및 변조대역폭은 7.5GHz를 나타내는 것으로 분석되었다(표1, 그림 1). 광도파로는 단면폴리싱된 x-cut LiNbO₃에 APE (annealed proton exchange)법으로 광도파로를 제작하였고 버퍼층을 조절하여 RF terminatoin 저항을 맞추었다. 그림 2에 ACPS 전극의 입/출력단자에 연결된 본딩 Au 선과 피그테일링을 나타내고 있다. 본딩은 마이크로파가 인가되는 부분과 접지부를 패키지 도체에 연결하는 부분으로 이루어져 있고 출력단자부분에서 사용하는 임피던스정합용 저항기는 ACPS 전극을 50Ω로 설계함으로써 개방상태로 구성하였다.

표 1. 소자 설계

설계변수 1	설계값
electrode type	ACPS
hot electrode width	18 μm
electrode gap	9 μm
waveguide width	7 or 8 μm
thickness of buffer	<15 μm ± 0.5 μm
thickness of metal	<6 μm ± 1 μm
electrode length	50 mm
RF dielectric constant at 1 MHz	2.5 - 3.5
DC resistivity	$2.25 \times 10^{-9} \Omega \text{ cm}$
insertion loss	≤ 5.0 dB
input optical power	200 mW maximum
backreflection	< -40 dB
termination resistor	50 Ω
V _π at DC	< 7 V
max. RF power	+ 24 dBm

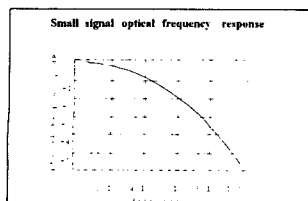


그림 1. 변조대역폭 계산

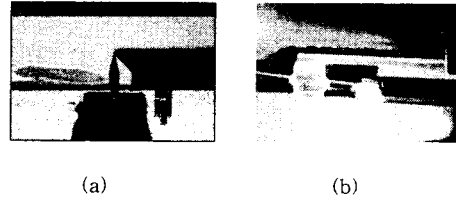


그림 2. 마이크로파전극입/출력 본딩 및 피그테일링

그림 3에 시편 2개(pm-1, pm-2)에 관한 전극마이크로파 특성 S₁₁을 나타내었다. 버퍼층 두께를 조절함으로써 스트립 임피던스를 50Ω에 맞춘 결과 대역 10GHz 까지 <-10dB를 유지하는 양호함을 나타내었다. 그리고 그림 4에 변조대역폭을 나타내었는데, 시편 pm-1 및 pm-2의 3-dB optical bandwidth는 6GHz 및 7GHz를 보였다. 표 2에는 제작한 소자의 특성을 나타내었으며 측정된 구동전압은 모두 약 6V 였다. 따라서 본 연구에서 제작한 전산모의 실험은 광위상변조기를 제작코자할 때 정확히 예측할 수 있는 범위에 있음을 확인하였다.

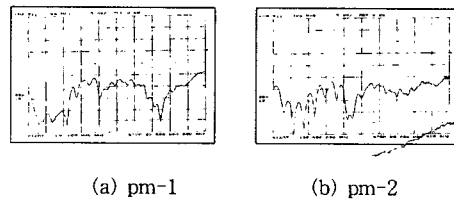


그림 3. ACPS 전극 S₁₁-parameter

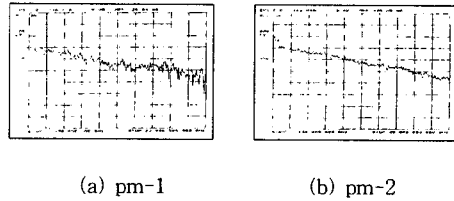


그림 4. 전기광학변조효과

표 2. 소자특성

device parameter		
optical parameters	insertion loss, dB	<3.0-3.6
	RF electrode half-wave voltage (50Ω)	6.0 V
	Bias electrode half-wave voltage (open)	no account
	test wavelength	1550 nm
electrical	S ₁₁ return loss	<-15dB
electo-optical	3-dB bandwidth	6-7 GHz

3 결론

본 논문에서는 광대역 광통신용 5Gbps급 ACPS형 LiNbO₃ 위상변조기를 전산모의실험하여 제작하고 패키징하여, 파장 1550nm에서 구동시켰을 때 패키징특성을 조사하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

I. 전산모의 실험

- ① 특성임피던스 : 42Ω
- ② 유효굴절율 : 1.865
- ③ 구동전압 : 7V
- ④ 변조대역폭 : 7.5GHz

II. 패키징특성

- ① 특성임피던스 : 50Ω
- ② 구동전압 : 6 V
- ③ fiber-to-fiber 삽입손실 : 3.0-3.6 dB
- ④ 변조대역폭 : 6-7GHz

참고문헌

- [1] 전자부품종합기술연구소, B-ISDN 공동연구개발사업, KETI-RD-96091
- [2] K.R.Preston, B.M.Macdonald, R.A.Harmon, C.W. Ford, R.N.Shaw, I.Reid, J.H. avidson, A.R. Beaumont and R.C.Booth, "High performance hermetic package for LiNbO₃ electro-optic waveguide devices", SPIE vol.994, Optoelectronic materials, 1988, pp.25-31.
- [3] V.Ramaswamy, R.C.Alferness, M.Divino, "High efficiency single-mode fibre to Ti:LiNbO₃ waveguide coupling", Electronics Letters, vol.18, no.1, pp.30-31, 1982.
- [4] 김성구, 윤형도, 윤대원, 유용택, "Coplanar wave guide 형 LiNbO₃ 광변조기 전극설계 및 분석", 대한전자공학회, 제32권 A편 제12호, pp.80-90, 1995.
- [5] 김성구, 윤형도, 윤대원, 유용택, "광변조기용 CPW 진행파형 전극 마이크로파특성", 대한전기전자재료 학회, Vol.9, No.1, pp.51-58, 1996.