

論文98-35D-11-12

# 광대역 광통신용 5 Gbps급 LiNbO<sub>3</sub> 광위상변조기 제작 및 특성

## (Properties and Fabrications of 5 Gbps level LiNbO<sub>3</sub> Optical Phase Modulator for a Broadband Optical Communications)

金成求\*, 尹炯導\*, 尹大源\*\*, 朴桂春\*\*\*, 姜聲俊\*\*\*\*  
 (Seong-Ku Kim, Hyung-Do Yoon, Dae-Won Yoon, Gye-Chun Park, and Seong-Jun Kang)

### 요 약

본 논문에서는 광통신용 5Gbps급 LiNbO<sub>3</sub> 위상변조기를 제작하고 패키징(packaging)하여 그 제반특성을 조사하였다. 광위상변조기의 광도파로는 양자교환법(APE, annealed proton exchange)으로 제작하였고 마이크로파전극은 ACPS(asymmetric coplanar strip)로 설계하였다. 소자특성으로 제작한 LiNbO<sub>3</sub> 위상변조기를 파장 1550nm에서 구동시켰을 때 소자의 변조대역폭, 삽입손실 및 구동전압은 각각 7GHz, 3.0dB 및 6V를 나타내었다.

### Abstract

A 5Gbps LiNbO<sub>3</sub> optical phase modulator was designed, packaged and it's properties were characterized for optical communications. The 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 LiNbO<sub>3</sub> for applying microwave signal with a dimension of width 18 $\mu$ m, gap 9 $\mu$ m and length 50mm. The fabricated single-moded modulator operated at a 1550nm wavelength exhibits its modulation bandwidth, insertion loss and driving voltage of 7GHz, 3.0dB and 6V, respectively.

### I. 서 론

B-ISDN(broadband integrated services digital network)을 구성하기 위한 광전송시스템에는 송신단

에서 수신단에 이르기까지 요소요소에 각종 광부품들이 동작하여 원활한 정보소통을 위한 기능을 수행한다. 특히 수동광부품은 광통신에 있어서 전송품질과 통신방식의 다양성을 결정짓는 중요한 소자이다<sup>[1]</sup>. 그 중에서 광변조기, 가변광필터, 광감쇠기 및 광섬유커플러 등은 광통신을 위한 대표적인 수동광부품으로 국내 정보통신산업발전을 도모하기 위해 추진된 HAN/B-ISDN 프로젝트에서도 광통신용 수동광부품을 개발하여 광통신서비스를 차질없게 추진하고자 관련기술을 구축하여 왔다<sup>[2,3,4]</sup>.

LiNbO<sub>3</sub> 도파로형 전기광학변조기 및 전기광학스위치 등이 수 Gbps 이상 초고속 광통신을 실현하는 핵심소자로 가능성을 보인 이후, 대부분 초고속 대용량

\* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 通信部品研究센터 (Korea Electronics Technology Institute)

\*\* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 薄膜素子研究센터 (Korea Electronics Technology Institute)

\*\*\* 正會員, 木浦大學校 電氣工學科 (Dept. Of Electronic Engineering, Mokpo Univ.)

\*\*\*\* 正會員, 木浦大學校 컴퓨터工學科 (Dept. of Computer Engineering, Mokpo Univ.)

接受日字:1998年1月12日, 수정완료일:1998年9月29日

광전송시스템에서 외부광학변조기(external optical modulator)를 채용하고 있다<sup>[6]</sup>. 특히 OC-192 (STM-64)와 같은 10Gbps급 이상의 광변조기는 최근 장거리전송 및 기간망(backbone) 전송시스템에서 필수적으로 인식되고 있다<sup>[7,8]</sup>. 외부광학변조기는 집적 광학기술을 통해서 구현되며, LiNbO<sub>3</sub> 광변조기는 형성된 도파로에 외부적인 전기신호를 광굴절을 변화로 바꿀 수 있는 전기광학효과를 이용하여 광의 변조, 스위칭, 및 필터링 동작을 달성하게 된다. LiNbO<sub>3</sub> 저손실 광도파로 형성은 Ti 확산방법과 양자교환방법이 사용되고 있는 추세이다.

LiNbO<sub>3</sub> 도파로형 소자는 변조대역폭 및 스위칭주파수가 증가함에 따라서 유효구동전력(available drive power)과 전력소모에 제한이 따르게 되는데, 이러한 trade-off는 저구동전압(low drive voltage)과 저삽입손실(low optical/electrical insertion loss)화를 위해 버퍼층, 도파로 및 전극을 설계할 때 직면하게 된다<sup>[9]</sup>. 한편, 고속 광대역화된 광변조기를 설계하기 위해서 진행파형 전극(traveling-wave electrode)이 선호되고 있으며, LiNbO<sub>3</sub>의 높은 유전상수에 의한 광파와 마이크로파와 위상속도부정합 및 전극 전도손실에 의한 변조대역폭 극박 등에 대한 다양한 연구가 진행되어왔다<sup>[10,11]</sup>

본 연구에서는 고속통신, 코히어런트 광통신(coherent optical communications), 광신호처리(optical signal processing) 및 레이더시스템 등에 이용되는 광위상변조기 제작에 관한 논문으로서 전극설계를 위한 전산모의실험 및 제작 후 패키징특성에 관하여 간략히 논의하였다. 제작될 소자의 특성을 조사하기 위하여 모의전산 실험한 결과, 변조기 구동전압은 7V로 계산되었고 3-dB 변조대역폭은 7.6GHz를 보였다. 그리고 제작공정을 거쳐 패키징한 시편의 광 3-dB 대역폭(optical 3-dB bandwidth)은 6~7GHz로 구동전압은 6V로서 전산실험 결과와 유사하여 본 연구에 응용한 설계데이터가 향후 유용한 수단이 될 수 있음을 증명하였으며, 전체 광섬유-도파로-광섬유 삽입손실은 3.0~3.6dB를 나타내었다.

## II. 설계, 제작 및 패키징

LiNbO<sub>3</sub> 광변조기는 가장 큰 전기광학계수  $r_{33}$ (30 pm/V)를 이용하며 매질결정인 z 또는 x 축을 따라서

편광된 도파광에 전계를 동일방향으로 인가시켜 전기/광학변조를 생성함으로써 신호전송용 마이크로파 신호에 의해서 굴절율이 변화하게 된다. 이때 굴절율은 식(1)과 같이 변화하는데  $n_e$ 는 매질을 도파하는 이상광선 굴절율이고 z-cut LiNbO<sub>3</sub>는 수직방향 인가전계, x-cut LiNbO<sub>3</sub>는 수평방향 인가전계에 의해 구동전압 및 변조대역폭이 결정된다<sup>[12-15]</sup>. 만약 RF 단자에 구동전압 인가로 전계가 발생되면, 이방성 굴절율변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta n_e = \left(\frac{1}{2}\right) n_e^3 r_{33} E_3 \quad (1)$$

전극사이 간격은  $2G$ 일 때, 전압  $V$ 가 인가된 경우 전계는  $V/2G$ 로 나타낼 수 있으며, 이때 전기장파 광이 겹치는 정도를 중첩상수라고 하고, 광과 중첩하는 전계세기를 크게하여 구동전압을 효과적으로 낮출 수 있다. 비등방성 매질내 진행파형 전극구조를 따라 흐르는 마이크로파 전파는 의사-TEM(quasi-TEM) 모드로 가정하고 또한 전송선로에서 주파수가 매우 높은 Gbps급인 경우의 특성임피던스 및 마이크로파 유효굴절율은 식(2), (3)으로 표현된다.

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

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

여기서  $v_o$ 는 자유공간에서 광파속도이고  $v_m$ 은 도파매질에서 마이크로파 속도이다.  $C_o$ ,  $C_c$ 는 매질 및 자유공간에서 전극에 의한 정전용량이다. 구동전압은 변조기를 FULL-ON에서 FULL-OFF로 동작(phase shift, 180°)시키는데 요구되는 전압이고 식(4)로 표현된다.

$$V = \frac{\lambda(2G)}{2(n_e^3 r_{33} L \Gamma)} \quad (4)$$

여기서  $\lambda$ 는 광파장,  $2G$ 는 전극간격,  $\Gamma$ 는 도파광과 외부전계사이의 중첩된 적분값이며 최대 1을 갖는다. 중첩적분의 표현식은 식(5)와 같고 z-cut 인 경우 기판에 대해서 수직방향으로 편광된 TM 모드를 이용하기 때문에 도파되는 광형상은 헬름트-가우시안(Hermite-gaussian)형태로 도파되며, x-cut 인 경우 도파광은 기판에 대해 수평방향으로 편광된 TE 모드

인 가우시안(Gaussian)형태로 도파된다. 실험적으로 도파광파위의  $1/e^2$  되는 점에서 광모드를 측정해 볼 때 TM/TE 모드의 종방향 모드가 횡방향모드보다도 약간 작고, 동일조건에서 TM 모드보다도 TE 모드가 약간 크다<sup>[16,17]</sup>.

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

식(5)에서  $E_{op}$  는 광도파로를 진행하는 광전계이고,  $E_{el}$  은 변조전계이다. 변조기의 전계인가 부분인 전극은 Au-도금(electroplating)으로 형성되는데 <30GHz 정도 범위에서 Au 전극의 유전손실은 무시하고 전도 손실만으로 Au 전극을 따라 흐르는 전계의 감쇠정수를 해석하며, 이때 감쇠정수는 식(6)로 표시되며, 자세한 내용은 문헌을 참고하면 된다<sup>[12,13,18]</sup>.

$$a(f) = a_0 \sqrt{f} \quad (6)$$

변조기의 가장 중요한 특성인 변조대역폭은 광 강도가 3dB 만큼 감소하는 점을 취하며 간략화된 변조대역폭시법은 식(7)에 나타내었다. 여기서  $n_o$  는 도파로를 진행하는 광파의 유효굴절율이며,  $n_m$  은 전극을 진행하는 마이크로파의 유효굴절율을 표시하고 있다.

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

일반적으로 소자 임피던스정합(impedance matching)은 CPW(coplanar waveguide)나 CPS(coplanar strip) 보다도 ACPS(asymmetric coplanar strip)가 보다 용이하기 때문에 소자구조는 그림 1에 나타낸바와 같이 ACPS를 채택하고 임피던스 조절은 50Ω에 맞추기 위해서 버퍼층을 두께를 증가시켰으며, 이로 인한 구동전압의 증가를 보상하기 위해서 상호작용길이(interaction length)를 5cm로 설계하였다. ACPS 전극특성에 관계되는 인자로는 임피던스, 전극 폭, 간격, 버퍼층(buffer layer) 및 전극두께 등이 있으며, 확정된 설계사항으로 소자를 제작했을 때 동작정도를 알아보고자 전산모의 실험을 수행하였다.

일반적으로 변조대역폭은 전극두께, 마이크로파와 광파 중첩정도 및 전극폭/간격 등에 관계되며, 버퍼층 두께가 일정하고 전극두께가 증가하면, 마이크로파 굴절률이 감소하여 광파의 유효굴절율에 근접하게 되어,

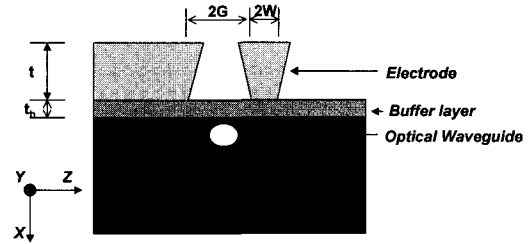


그림 1. ACPS LiNbO<sub>3</sub> 진행파형 광위상변조기 개략적인 구조

Fig. 1. Schematic cross-section of a typical ACPS LiNbO<sub>3</sub> traveling-wave optical phase modulator.

결국 식(7)에서와 같이 변조대역폭이 증가한다<sup>[12]</sup>. 그리고 특성임피던스는 전극제원인  $2W/2G$  함수로 결정된다. 발표된 문헌을 종합해보면 두꺼운 버퍼층은 변조대역폭을 증대시키고 특성임피던스를 증가시키나, 구동전압이 증가하는 단점을 수반한다. 따라서 본 연구에서는 전극길이를 길게 하여 구동전압을 낮추는 방법을 시도하였다<sup>[12-14]</sup>. 또한 본 연구에서는 지금까지 간략히 표현된 수치해석을 바탕으로<sup>[4,5]</sup> 5Gbps 급 광위상변조기를 구현하기 위한 소자구조의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 제작에 사용될 기판은 x-cut LiNbO<sub>3</sub> 이고 센터전극 폭은 9μm, 간격은 18μm로 설계하였다. 그리고 온도안정성을 개선하기 위한 방안으로 보통 0.1 μm 두께의 Si 필름을 스퍼터링 방식으로 증착하고 있으나, 본 연구에서 시작품단계로서 이를 고려하지 않고 CVD 방법으로 버퍼층을 제작하였다. 센터전극 두께는 약 6μm 로 도금하였고, 센터전극의 입/출력단자의 저항값은 모두 6Ω 미만으로 측정되었다.

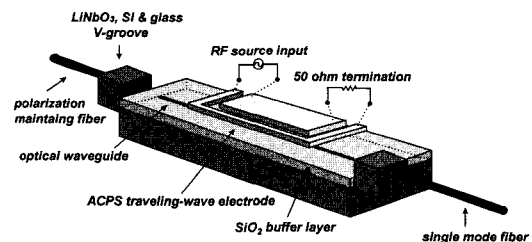


그림 2. ACPS의 구조

Fig. 2. Structure of ACPS.

전산시뮬레이션 결과, 계산된 인자로 특성임피던스는 42Ω로 산출되었으며 공정상 여유를 감안하면 ±5 Ω 정도는 변화될 것으로 판단되었다. 유효굴절율

(effective microwave group index),  $n_m$ 은 1.865, 중첩상수 및 감쇠정수는  $0.270$ 과  $2.06 \times 10^{-7} \sqrt{f}$ 로 산출되었고, 변조대역폭계산은 속도부정합인 광파굴절율 (refractive optical group index),  $n_o$  와 마이크로파 굴절율(microwave refractive index),  $n_m$  차이로 대역폭을 계산하였다. 전산모의 및 제작실험에 사용한 파장은  $1550\text{nm}$  파장의 광원이고 변조기 입출력단자에 광섬유를 피그테일링(pigtailling)하여 측정하였다. 설계상의 위상변조기 구동전압은  $7\text{V}$ 로 변조대역폭은 약  $7.6\text{GHz}$ 를 나타내는 것으로 분석되었다. 표 1에는 제작하고자하는 변조기 설계사항을 요약하였고, 그림 3에 변조대역폭 모의실험 결과를 나타내었다. 이 대역폭 계산 tool은 Mathematica를 이용하였고 광입력세기가 50%로 감소하는  $-3\text{dB}$  점을 대역폭으로 선택하였다.

표 1. 소자설계 데이터.  
Table 1. Design specification.

설계인자	설계값
전극형태	ACPS
센터전극 폭/전극간격	$18 \mu\text{m}/9 \mu\text{m}$
도파로 폭	$7 \text{ or } 8 \mu\text{m}$
버퍼층두께/전극두께	$<15 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m} / <6 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$
전극길이	$50 \text{ mm}$
전극의 bulk DC 저항률	$2.25 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}$
삽입손실	$\leq 5.0 \text{ dB}$
반사손실	$< -40 \text{ dB}$
중단저항	$42 \Omega$
구동전압, $V_{\pi}$	$< 7 \text{ V}$

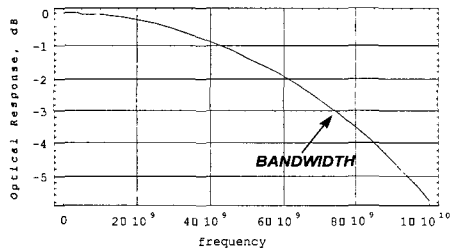
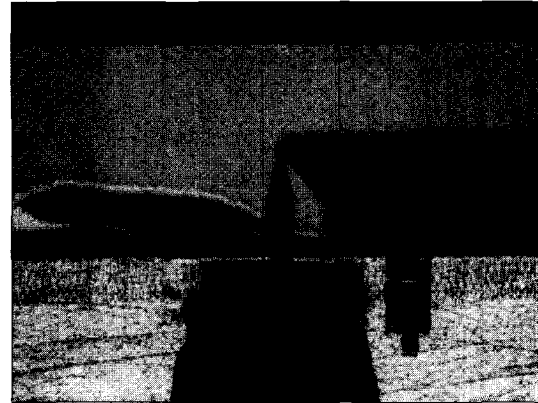


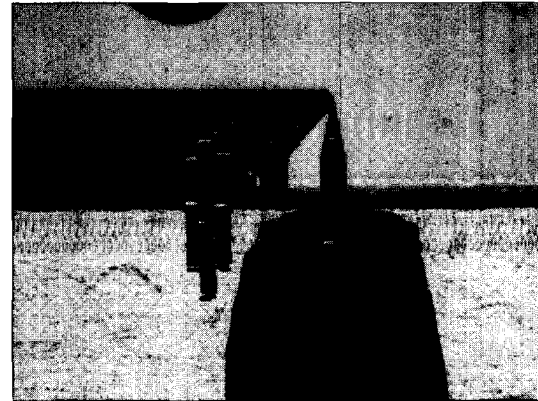
그림 3. 변조대역폭 계산  
Fig. 3. Simulation of modulation bandwidth.

광도파로는 단면폴리싱된 x-cut LiNbO<sub>3</sub>에 양자교환 후 열처리하는 APE으로 광도파로를 제작하였고 버퍼층 두께를 조절하여 RF 중단(terminatoin)저항을 맞추었다. 그림 4에 ACPS 전극의 입/출력단자에 연

결된 본딩 Au 선과 SMA 커넥터에서 연결한 Au stripe을 나타내고 있다. 본딩은 마이크로파가 인가되는 부분과 접지부를 패키지 도체에 연결하는 부분으로 이루어져 있고 출력단자 부분에서 사용하는 임피던스 정합용 저항기는 ACPS 전극을  $50\Omega$ 으로 제작함으로써 개방상태로 구성하였다.



(a)



(b)

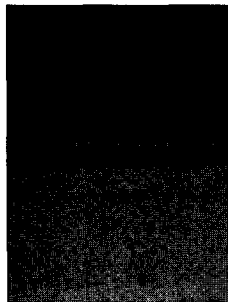
그림 4. 마이크로파전극 입/출력 본딩  
(a) 입력본딩 (b) 출력본딩

Fig. 4. Input/output bonding of microwave electrode.  
(a) input bonding (b) output bonding

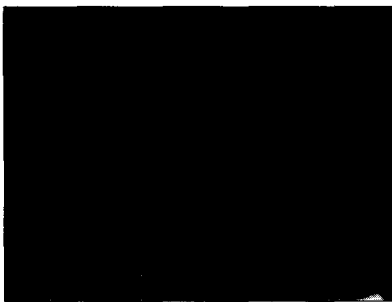
그림 5는 마이크로파 진행파형 ACPS 전극의 세부 사진을 나타내었다. 그림 5(a)는 입력부분의 전극형성 사진이며, (b)는 도파로와 전극의 상호작용영역이고, 그림 (c)는 설계전극의 임피던스 정합을 위한 출력부이다. 본 설계 특징은 도파로가 겹쳐지는 부분을 유선형으로 설계함으로써 전기적인 특성인 S<sub>11</sub>을 개선시킬 수 있었으며 향후 Au-본딩 부분도 유선형으로 설계하면 더욱 특성이 개선되리라 생각된다.



(a)



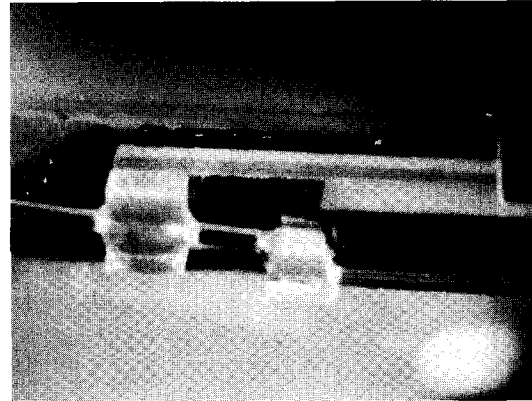
(b)



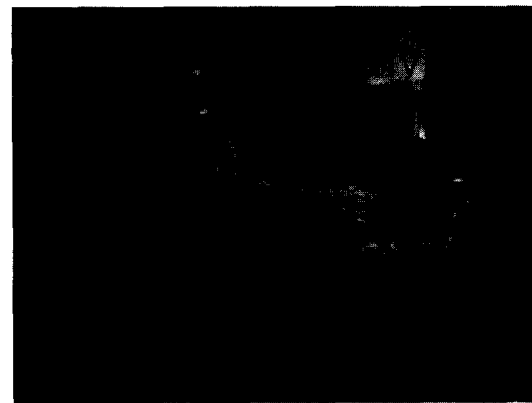
(c)

그림 5. ACPS 마이크로파 전극사진  
 (a) 입력 (b) 상호작용영역 (c) 출력부분  
 Fig. 5. Microwave ACPS electrode photographs.  
 (a) microwave input (b) interaction length  
 (c) microwave output

그림 6에 광섬유 피그테일링 사진을 나타내었다. 그림 6(a)는 광섬유 고정용 블록과 더미블록(dummy block)을 나타내고 있으며 그림 6(b)는 확대사진을 나타내었다. 피그테일링(pigatiling)과정은 V-groove가 있는 더미블럭에 광섬유의 자켓을 제거한 후 UV-에폭시로 고정하고 이 블록을 활용하여 정렬시스템으로 광변조기 입/출력단자의 광도파로와 광축을 일치시킨다. 정렬 후 광섬유와 광도파로간 고정은 자외선경화수지(UV-epoxy)를 사용하였다. 그리고 광섬유 한쪽 끝에 glass 기둥을 세워 충격에 강하도록 고정시키고, 미리제작한 황동패키지에 그림 6과 같이 패키징을 완료하였다.



(a)



(b)

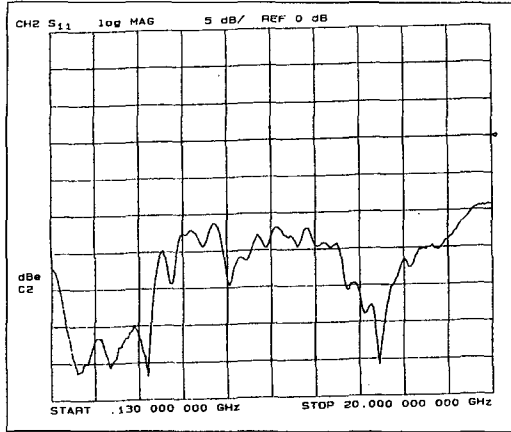
그림 6. 파이버 피그테일링  
 (a) 피그테일링 (b) 피그테일링 세부사진  
 Fig 6. Fiber pigtailing.  
 (a) pigtailing (b) detailed photograh

### III. 결과 및 고찰

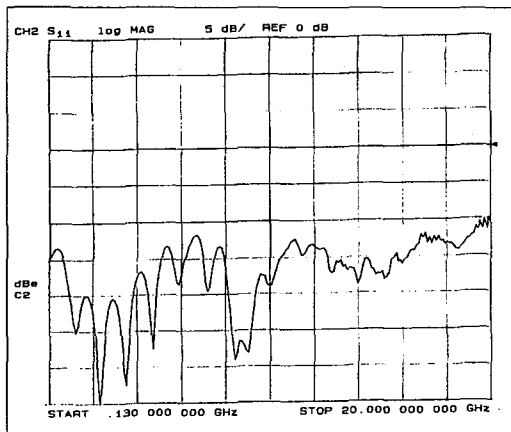
본 실험을 통하여 제작한 2개의 광위상변조기(시편 pm-1 및 pm-2)에 관한 결과를 서술하였으며, 이 시편들은 내부 광도파로에 광섬유 피그테일링을 마치 난 후 황동으로 제작한 외부 하우징(housing)에 장착하여 변조기의 전체패키지 과정을 마무리하였다.

1550nm 광원이 광변조기에 입력되는 광변조기 입/출력부는 Fujikura fiber를 사용하여 pigtailing 하였고, 입/출력 2개 커넥터 손실을 포함한 전체삽입손실(total insertion loss)은 3.0dB와 3.6dB를 나타내었다(표 2참조). 이 수치를 단위길이당 손실로 나타내면 0.5~0.6dB/cm가 되며, 입/출력단에서 손실 즉, 모드불일치(mode mismatch), 커플링손실, 산란 및 커넥터손실을 포함하므로 이 손실들을 제거하면 이 보다도 훨씬 낮은 전송손실을

나타낼 것으로 보인다. 이 요소중에서 가장 큰 손실은 커플링손실로서<sup>[6]</sup> 약 50%에 해당한다.



(a) pm-1



(b) mp-2

그림 7. ACPS 전극의 S11-parameter

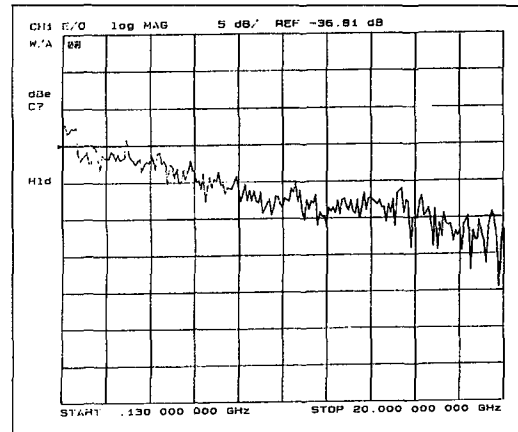
(a) pm-1 (b) pm-2

Fig. 7. S11-parameter of ACPS electrode.

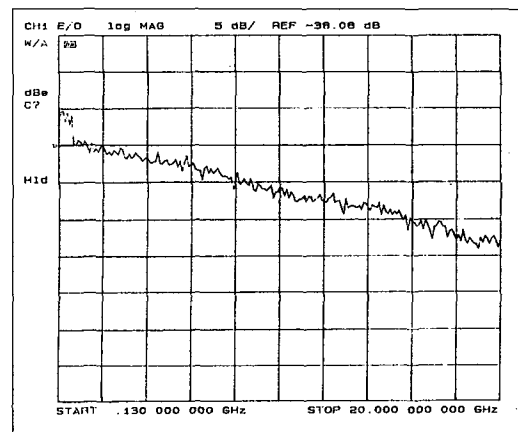
(a) pm-1 (b) pm-2

광변조기 동작을 확인하기 위해서 제작된 광변조기 내부 chip의 전극특성을 측정하였다. 광변조기의 변조 대역폭은 주로 도파로 위에 형성된 전극 마이크로파특성에 의해서 좌우된다. 이러한 전극특성을 평가하는 요소는 S-파라미터 측정을 통해서 예측할 수 있는데, 상품화된 광변조기의 S<sub>11</sub> 특성의 경우 -10dB 이하까지 유지해야 충분한 변조가 가능하다. 그림 7에 전기적 S<sub>11</sub> 특성 및 그림 8에 전기-광응답인 변조대역폭 특성을 나타내었다. 실험에 사용한 시편은 그림 7에 나타내 것처럼 시편 2개(pm-1, pm-2)에 관한 전극 마이크로파 특성 S<sub>11</sub>이며, 버퍼층 두께를 조절함으로써

스트립 임피던스를 50Ω에 맞춘 결과 변조대역 10GHz 까지 <10dB를 유지하는 양호함을 나타내었다. 그리고 그림 8에 변조대역폭을 나타내었는데, 시편 pm-1 및 pm-2의 3-dB 변조대역폭은 6GHz 및 7GHz를 보였다. 동일조건에서 제작한 시편의 대역폭이 차이를 보이고 있는 것은, 광변조기 내부칩 제작과정 후 광섬유와 광도파로 및 V-groove와 광섬유와 편광축의 불안정한 접속과정에서 발생하는 것으로 보이며 향후 이에 대한 연구가 있어야 할 것으로 보인다. 표 2에는 제작한 소자의 특성을 나타내었으며 구동전압은 주파수 1kHz를 인가 했을 때 약 6Volts로서 일정하였다.



(a) pm-1



(b) pm-2

그림 8. 전기광학 변조대역폭

(a) pm-1 (b) pm-2

Fig. 8. Electro-optical modulation bandwidth.

(a) pm-1 (b) pm-2

본 연구에서 제작한 소자의 특성은 아래와 같이 요약할 수 있다. 첫째, LiNbO<sub>3</sub> 광변조기 제작을 목적으

로 간단한 모의실험을 이용하여 광위상변조기의 설계에 활용하였다. 전산모의 실험 결과 대역폭은 7.5GHz였고 실제 제작된 광변조기 시편은 6~7GHz를 나타내어, 비교적 예측할 수 있는 범위에 있음을 확인하다. 둘째 광 fiber 사이의 삽입손실 저감을 고려하여 광전계매칭(optical field matching)이 되도록 광도파로를 제작하였다. 셋째로 전극을 ACPS 구조로 설계하여 전송선로 임피던스 매칭효과를 극대화하려 시도하였다. 넷째로 도파로와 광파이버 접합부에 굴절율정합오일(index matching oil)과 소형 V-groove 등을 사용하여 고정시켰으며 다섯째로 진행파형 전극길이는 구동전압과 변조대역을 고려하여 5cm로 설계하였으며, 전극두께는 6 $\mu$ m까지 전기도금하였다. 이와같은 사항을 바탕으로 제작한 광위상변조기는 표 2에서와 같이 저삽입손실과 넓은 광대역성을 나타내었다.

표 2. 소자특성.

Table 2. Device properties.

특성인자		동작범위
광특성	전체삽입손실	< 3.0 ~ 3.6 dB
	구동전압	6.0 V
	구동파장	1550 nm
전기적특성	S11 귀환손실	< 10 dB
전기-광학응답특성	전기-광 3-dB 변조대역폭	6 ~ 7 GHz

☞ Input fiber type :

Fujikura SM-15-P-8/125-UV/UV-400,  
with connector

Output fiber type

: Fujikura SM-15-P-8/125-UV/UV-400,  
with connector

#### IV. 결론

본 연구를 수행하면서 개발한 광변조기 제작기술에는 ① 단일모드 광도파로 제작기술, ② 광변조기 미세전극 형성기술, ③ 광도파로 광섬유 피그테일링 기술 및 패키징기술등을 개발하였고, 이 요소기술을 바탕으로 ④ 광변조기 설계기술 및 제작기술을 개발하였다. 그리고 본 연구에 의한 패키징 방법을 양산이 가능한 기술로서 발전시키고 신뢰성을 제고시키기 위해서는 온도에 대한 드리프트 안정화 및 구동전압 저감화 등에 대한 과제가 남아 있어 이에 대한 연구가 있어야 할것으로 사료된다.

파장 1550nm에서 구동시켰을 5Gbps급 ACPS형

LiNbO<sub>3</sub> 위상변조기의 전산모의실험 및 실측결과는 다음과 같다.

(i) 전산모의 실험

- ① 특성임피던스 : 42 $\Omega$
- ② 유효굴절율 : 1.865
- ③ 구동전압 : 7V
- ④ 변조대역폭 : 7.6GHz

(ii) 소자특성

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

위의 같은 특성으로 미루어보아, 이 연구결과는 광통신 시스템에 요구되는 광변조기개발에 응용 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

※ 본 연구는 전자부품종합기술연구소의 정보통신용 핵심부품개발사업 일환으로 수행되었음을 알려드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] 윤대원, 김성구 외 7인, 수동광부품개발, 전자부품종합기술연구소, KETI-RD-96059, 1996
- [ 2 ] 윤대원, 김성구 외 10인, B-ISDN 공동연구개발사업, 전자부품종합기술연구소, KETI-RD-96091, 1996
- [ 3 ] K.R.Preston, B.M.Macdonald, R.A.Harmon, C.W.Ford, R.N.Shaw, I.Reid, J.H. Davidson, A.R.Beaumont and R.C.Booth, "High performance hermetic package for LiNbO<sub>3</sub> electro-optic waveguide devices", *SPIE Optoelectronic Materials*, vol. 994, pp. 25-31, 1988.
- [ 4 ] V.Ramaswamy, R.C.Alferness, M.Divino, "High efficiency single-mode fibre to Ti:LiNbO<sub>3</sub> wave-guide coupling", *Electronics Letters*, vol. 18, no. 1, pp. 30-31, 1982.
- [ 5 ] M.Seino, N.Mekada, T.Namiki, and H.Nakajima, "33-GHzcm brosdband Ti:LiNbO<sub>3</sub>

- Mach-Zehnder modulator”, *ECOC’89*, ThB22-5, pp. 433-436, 1989.
- [ 6 ] Seino Minori, Mekada Naoyuki, Namihashi Takefumi, Kubota Yoshinobu, Nakazawa Tadao, Yamane Takashi, Kurahashi Teruo, Nakajima Hirochika, “Broad-band Ti:LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder modulator for high-bit-rate fiber transmission”, *NTT R&D*, vol. OQE89-35, pp. 61-64, 1989.
- [ 7 ] J.Lin and P.Sanders, “OC-192 lithium niobate modulators smart fiber-optic network capacity”, *J.Lightwave*, pp. 49-53, 1997.
- [ 8 ] N.Henmi, T.Saito, M.Yamaguchi and S.Fujita, “10Gbps, 100km normal fiber transmission experiment employing a modified prechirp technique”, *Digest of Optical Fiber Comm. Conf.*, pp. 54-55, paper Tu02, USA, 1991.
- [ 9 ] S.K.Korotky and R.C.Alferness, in *Integrated Optical Circuits and Components*, L.D.Hutcheson, Ed., Marcel Dekker, New York, 1987.
- [ 10 ] F.Auracher and B.Noll, in *Tech. Dig. Top. Meet. on Intrag. and Guided-wave Opt.*, Atlanta, paper THCC13, 1986.
- [ 11 ] S.K.Korotky, “Optimization of traveling-wave integrated-optic modulators”, *Tech. Dig. Numerical Simulation and Analysis in guided-wave Optics and Optoelectronics*, Houston, Tx, Feb. pp. 103-105, 1989.
- [ 12 ] Haeyang Chung, William S. C. Chang, and Gary E. Betts, “Microwave properties of traveling-wave electrode in LiNbO<sub>3</sub> electrooptic modulator”, *J.Light.Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 1274-1278, 1993.
- [ 13 ] Haeyang Chung, and William S. C. Chang, “Modeling and optimization of travelingwave LiNbO<sub>3</sub> interferometric modulator”, *J.Light.Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 1274-1278, 1993.
- [ 14 ] 김성구, 윤형도, 윤대원, 유용택, “Coplanar waveguide형 LiNbO<sub>3</sub> 광변조기 전극설계 및 분석”, *대한전자공학회*, 제32권 A편 제12호, pp. 80-90, 1995
- [ 15 ] 김성구, 윤형도, 윤대원, 유용택, “광변조기용 CPW 진행파형 전극 마이크로파특성”, *한국전기전자재료학회*, vol. 9, no. 1, pp. 51-58, 1996
- [ 16 ] 김성구, 윤형도, 윤대원, 한상필, 김창민, 박계춘, 이진, 유용택, “x-cut LiNbO<sub>3</sub> 광도파로 제작 및 Ti 두께에 따른 Near-field 특성변화”, *한국전기전자재료학회*, 제11권 제2호, pp. 146-153, 1998
- [ 17 ] 김성구, 박계춘, 조재철, “Total fiber-to-fiber total insertion loss가 <6dB인 Ti:LiNbO<sub>3</sub> 광도파로 pigtailling 및 손실분석”, *한국전기전자재료학회*, vol. 11, no. 7, pp. 557-564, 1998
- [ 18 ] Chung Haeyang, “Optimization of microwave frequency traveling-wave LiNbO<sub>3</sub> integrated-optic modulator”, 박사학위논문, University of California, San Diego, 1990.



저 자 소 개

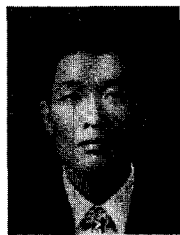


金 成 求(正會員)  
1966년 1월 10일생. 1996년 2월 전남대학교 전기공학과 박사학위취득. 1998년 현재 전자부품종합기술연구소, 통신부품연구센터 선임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Device,

Optical Communications

朴 桂 春(正會員)

1960년 8월 11일생. 1994년 8월 전남대학교 전기공학과 박사학위취득. 1998년 현재 목포대학교 전기공학과 조교수. 주관심분야는 Inregrated Optics, Photoelectric Materials and Device

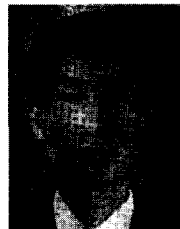


尹 炯 導(正會員)  
1966년 5월 7일생. 1997년 3월 성균관대학교 전자공학과 박사과정입학. 1998년 현재 전자부품종합기술연구소, 통신부품연구센터 전임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Device,

Optical Communications

姜 聲 俊(正會員)

1954년 4월 4일생. 1990년 3월 (프)USTL(Universite des Sciences et Techniques du Langeudoc). 전자공학과 박사학위취득. 1980년 4월 ~ 1994년 2월 한국전자통신연구소(ETRI) 책임연구원. 1994년 3월 ~ 현재 목포대학교 컴퓨터공학과 조교수. 주관심분야는 IRT 영상기술, 데이터통신, Optical Communications



尹 大 源(正會員)  
1949년 10월 14일생. 1988년 Texas A&M 대학교 전기공학과 박사학위취득. 1998년 현재 전자부품종합기술연구소 박막소자연구센터 센터장. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive

Device, Optical Communications