

論文98-35D-2-14

초고속 광통신용 10Gbps급 광변조기 제작 및 특성

(Fabrication and characteristics of 10Gbps Optical Modulator for High Speed Optical Communication)

尹炯導*, 金成求*, 許賢*, 尹大源*

(Hyung-Do Yoon, Seong-Ku Kim, Hyun Hyu, and Dae-Won Yoon)

요 약

Ti:LiNbO₃ 광도파로위에 CPW(coplanar waveguide) 구조의 전극을 형성한후 일련 공정에 따라 패키징을 하여 광변조기를 제작하였다. 특성을 분석한 결과 E-O(electrical-optical) bandwidth 측정에서 -3dB optical response는 10GHz를 나타내었고, S₁₁특성은 20GHz 까지 -10dB 이하를 유지하였다. 광변조기를 구동시키기 위한 전압은 5.6 V이며, 소자의 삽입손실은 4.2dB, 소광비는 30dB로 나타났으며 eye 패턴을 분석한 결과 특성이 우수한 소자임을 증명하였다.

Abstract

An optical modulator with CPW(coplanar waveguide) electrode on Ti:LiNbO₃ optical waveguide was fabricated and characterized. The electrical-optical bandwidth measurement showed an optical response of -3dB at 10 GHz and S₁₁ less than -10dB upto 20GHz. The typical specifications are : 5.6V of driving voltage, 4.2dB of insertion loss and 30dB of on/off extinction. The eye pattern proved that the optical modulator, fabricated in this work, has properties good enough for application.

I. 서 론

미래의 정보화 사회에서 고속, 대용량 전송요구에 효과적으로 대처하기 위한 방법의 하나로 광통신 시스템에 대한 연구가 국내외적으로 활발하다^{[1][2]}. 특히 광통신 시스템이 지닌 고속, 광대역성을 유효 적절하게 이용하기 위해 전송능력을 증가시키는 연구가 진행중이며, 이에 광변조기는 고속, 광대역 광통신 시스템을 위해 매우 중요한 위치를 차지하고 있다^{[3][4]}. 특히 광변조기 구현을 위한 기반기술은 반도체공정 기술과 마이크로 웨이브 소자 설계기술 등의 첨단 기초 기술등이 요구되기 때문에 기술적 파급효과와 장래 가

능성의 관점으로 볼 때 그 중요성이 강조되고 있다.

광변조 방식에는 반도체 레이저의 직접변조방식과 외부광변조기를 이용하는 외부변조방식이 있다. 직접변조방식의 경우 시스템이 간단하다는 장점이 있으나 반도체 레이저의 동특성으로부터 유발되는 chirping, time jitter, pattern effect 등의 문제점으로 인하여 시스템의 성능을 저하시킨다. 이에 비해 외부 변조방식은 시스템이 복잡해지고 외부광변조기 삽입으로 인한 삽입손실의 증가와 비용상승이 예상되나 고속, 광대역 및 장거리 광전송 시스템에서 이러한 문제점들은 극복될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 궁극적으로 LiNbO₃ 저손실 광도파로와 진행파형 전극구조를 이용하여, 10 Gbps 이상의 변조대역을 갖는 고속 광변조기를 제작한 다음, 광전송 시스템에 쉽게 활용될 수 있도록 패키징화 한 상태에서 광 변조기 특성을 연구 하였다.

* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 部品研究 1 팀
(Korea Electronics Technology Institute, KETI)
接受日字:1997年10月30日, 수정완료일:1998年1月30日

II. 광변조기 제작

광변조기의 제작공정은 그림 1과 같이 도파로제작, 전극제작, 패키지 순서로 이루어진다. 제일먼저 MDS, Auto CAD 등의 소프트웨어 tool을 이용하여 도파로와 전극을 설계한 뒤 마스크 제작을 하게된다. 마스크 제작이 완료되면 LiNbO₃ 기판을 깨끗이 세척한 후 Ti 내부확산 방법이나 양자교환 방법을 이용하여 단일 모드 광도파로를 제작하게된다^{[5] [6]}.

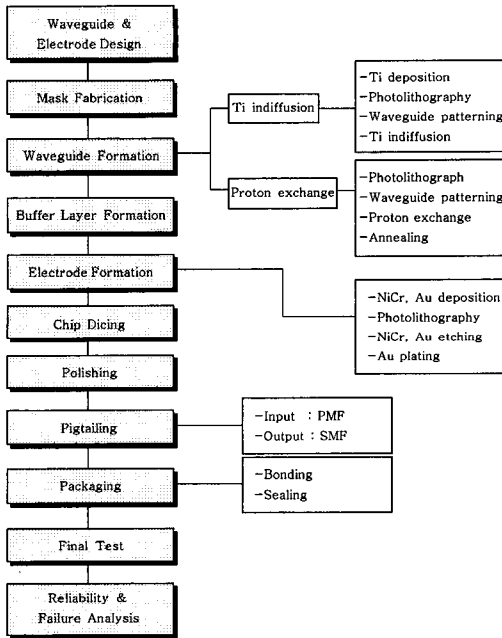


그림 1. 광변조기 제작공정

Fig. 1. The fabrication process of optical modulator.

광도파로가 제작되면 금속전극을 올리기 전에 스퍼터나 PECVD 진공장비를 이용하여 광도파로와 금속 전극간에 광손실을 줄이기 위한 SiO₂ 버퍼층을 형성시킨다. 버퍼층을 올린 뒤 NiCr, Au 를 사용하여 금 전극을 형성하게되는데, 진행파형 전극은 구조에 따라 CPW (coplanar waveguide), ACPS(asymmetric coplanar strip) 형태로 설계 제작할 수 있다^{[7] [8]}. 도파로 위에 금전극이 형성되면 다이아몬드 휠이 부착된 톱을 이용하여 각각 칩을 분리시킨 후 광의 도파를 원활하게 하기 위하여 시편의 입출력부분을 다이아몬드 페이스트와 연마패드를 이용하여 6 μm, 3 μm, 1 μm, 0.25 μm 단계별로 연마해준다. 연마가 끝나면 시

편의 입출력 단에 광파이버를 붙이는 피그테일링 작업을 하게된다. 입력 단에는 편광유지광섬유를 출력단에는 단일모드광섬유를 붙이게 되는데 광섬유를 붙이는 작업이 까다로우므로 주의를 요하게 된다. 그후에는 외부 패키지 안에 광파이버가 붙은 칩을 넣고 SMA 커넥터와 칩저항을 본딩한후 패키징작업을 한다. 패키징이 끝나면 최종적으로 특성 테스트와 신뢰성 테스트를 하게된다.

1. 설계

광변조기제작을 위하여 다음과 같이 설계하였다. LiNbO₃ 기판을 이용한 내부칩의 단위개당 길이는 59,000 μm 폭은 1,750 μm 이며 RF 입력단자와 DC bias 단자사이의 거리는 35,120μm 광도파로와 전극의 상호작용거리는 25,000μm 이다. 그림 2에 칩의 구조 및 크기를 나타내었다.

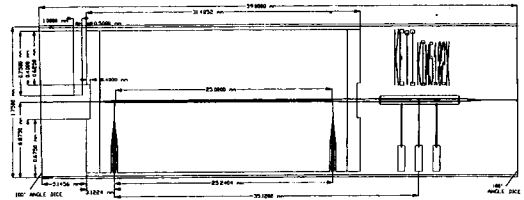


그림 2. 칩의 구조 및 크기

Fig. 2. The structure and size of a chip.

1550nm 파장에서 단일모드 광도파로를 제작하기 위해서 도파로폭을 7μm로 설계하였다. Mach-Zehnder 간섭계 형태의 arm 과 arm 사이의 거리를 13 μm, 분기점 각도를 0.5 ° 주었다.

CPW 구조의 전극은 RF 신호를 인가하는 전극과 DC 바이어스 전압을 인가시키는 전극으로 분리하여 설계하였고 RF입력단자와 터미네이션까지의 거리는 25,240μm이며 광파와 RF 신호파가 상호작용 하는 영역으로부터 SMA 커넥터가 닿는 부분까지는 상호작용 부분으로부터 200μm 를 균일하게 bending 시켜주었고 325μm 거리를 taper 지게하고 300μm 를 직각으로 설계하므로써 SMA 커넥터와 이어지게 하였다.

이렇게 내부칩구조를 설계함으로써 1장의 3"웨이퍼에서 16개의 내부칩이 제작되도록 하였다.

2. LiNbO₃ 광도파로 제작

광도파로 제작을 위한 티타늄 내부확산 공정은 그림 3과 같이 LiNbO₃ 기판 위에 티타늄 박막증착, 사진식

각작업, 티타늄 식각, 티타늄 내부화산 순으로 이루어진다.

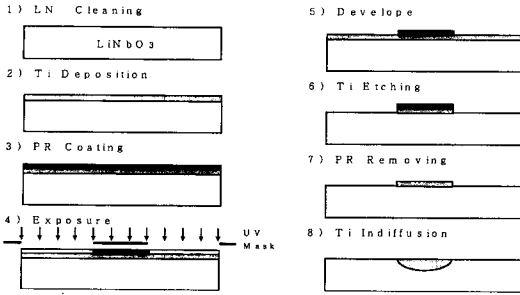


그림 3. 광도파로 제작공정

Fig. 3. The fabrication process of optical waveguide.

LiNbO₃ 기판을 테코넥스, 증류수, 이소프로필알코올을 이용하여 세척한후 E-beam evaporator 장비를 이용하여 5x10⁻⁶ 진공상태에서 800Å 두께의 Ti 박막을 증착하였다. Ti 이 증착된 LiNbO₃ 기판은 포토리지스트를 코팅시킨후, 노광장비를 사용하여 15초간 노광하였고 현상하였다. 그후 Ti 식각용액을 사용하여 도파로의 부분의 패턴을 전부 식각시켰다. Ti 패턴위에 남은 포토리지스트를 제거한후 튜브화산로를 이용하여 도파로제작 최종단계인 화산 작업을 수행하였다. 화산은 1050℃ 에서 8시간 수행하여 1550nm파장대에서 단일모드를 나타내는 도파로를 제작하였다.

3. 진행파형 CPW(coplanar waveguide) 전극제작

광도파로가 제작된 웨이퍼위에 SiO₂ 버퍼층을 증착한후 그위에 CPW 전극 제작공정을 수행하였다. 전극 제작을 위한 공정은 그림 4와 같다.

실리콘 산화막을 증착한 뒤 금속층과 버퍼층과의 부착력을 높이기 위하여 NiCr 박막을 증착하고 Au 도금을 위한 기저금속 Au 와 가이드 패턴으로서의 Cr 을 각각 E-beam evaporator 장비와 sputter 를 이용하여 증착한뒤 Au 도금을 하기 위한 가이드층으로서 포토리지스트층을 10-15 μm 두께로 코팅하였다. 자외선 노광장비와 Cr-mask 를 이용하여 전극이 형성될 부분만 노광시킨뒤 현상액에 기판을 담그므로써 전극이 형성될 부분의 포토리지스트가 모두 모두 분해되고 전극이 형성되지 않을 부분만 포토리지스트가 남게 하였다. 다음단계로 Cr 식각용액을 사용하여 금도금될 부분만 모두 식각한뒤 Au 전극 패턴위에 전기금

도금을 하여 전극을 형성하였다.

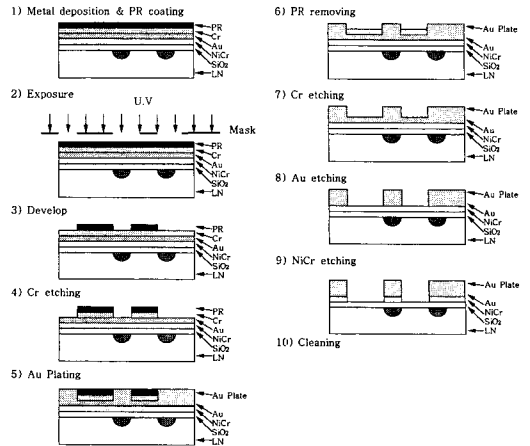


그림 4. 전극제작공정

Fig. 4. The fabrication process of electrode.

도금이 끝난 후에는 도금 가이드로서 사용했던 포토리지스트를 완전히 제거한후 금도금 전극이 형성된 이외의 부분인 Cr, Au, NiCr을 차례로 식각용액을 이용하여 식각함으로써 6μm 두께의 CPW 구조 금전극을 형성하였다.

4. 패키징

과거에는 제작된 칩 자체의 성능에 신뢰성이 부족하여 이에대한 연구가 집중되어 소자의 패키지는 다소 소홀했지만 내부칩의 성능이 해결되면서부터 오늘날 대부분 광소자는 전체적성능, 비용, 신뢰성등이 패키지 성공여부에 따라 좌우되기 때문에 경제적 효율성이 높은 패키지에 대한 여러 가지 디자인 및 기술이 제안되고 있다^[9]. 광변조기 패키지 역시 예외는 아니다. 광변조기 패키징을 위한 공정도를 그림 5에 보였다.

제작된 칩을 패키지 하기 위한 첫단계는 그림 5의 1)과 같이 광도파로와 부착할 광파이버를 캐피러리 안에 삽입한후 측면을 동시에 연마한다. 이 과정이 끝나면 칩의 상단 양쪽 가장자리에 그림 5의 2)와 같이 광섬유와의 결합강도 효율을 높이기 위한 보조블럭을 부착하고 칩의 하단에는 연마시 칩의보호를 위해 1차 보조글래스를 부착한다. 그후 광의 입출력 신호를 원활히 하기 위하여 광도파로가 형성되어 있는 칩의 측면을 사포 #1000, #2000, #2400, 다이아몬드 페이스트 6μm, 1 μm, 0.25 μm입자를 이용하여 그림 5의 3)과 같이 연마한다. 연마후 도파로와 파이버를 연결시켜주는 피그테일링작업을 그림 5의 4), 5)와 같이 수행한 뒤

그림 5의 6)과 같이 2차보조 글래스를 부착하고 그림 5의 7)과 같이 글래스 위에 광파이버 지지용블록을 부착시킨 후 온도, 습도, 진동으로부터의 영향을 줄이기 위하여 에폭시를 이용하여 광파이버를 2차 고정시킨다.

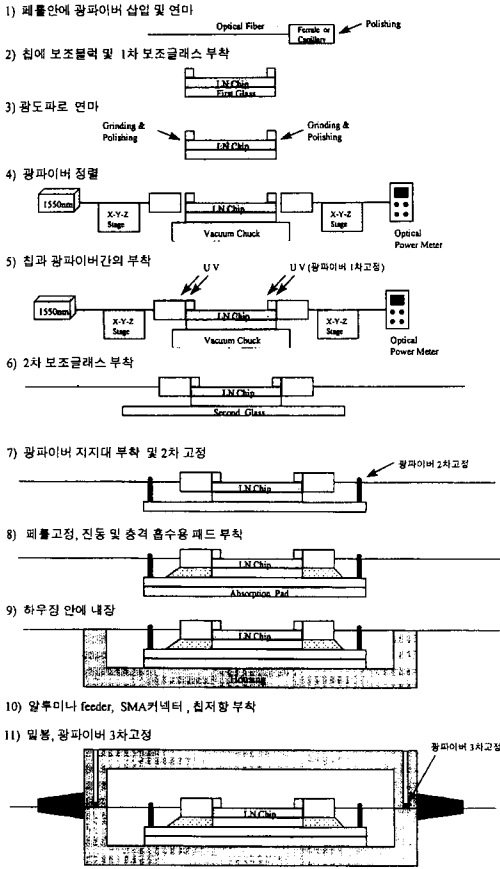
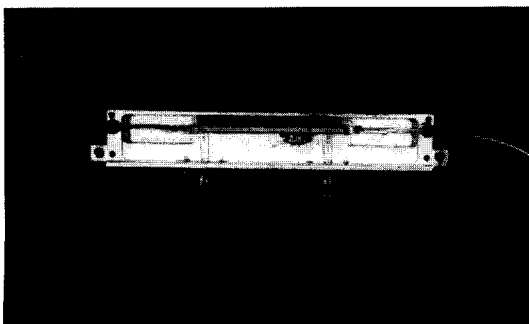
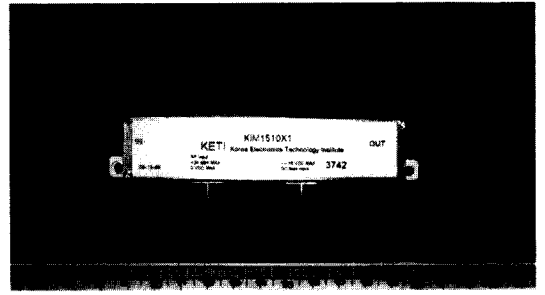


그림 5. 광변조기 패키징 공정도
Fig. 5. The packaging process of optical modulator.



(a)



(b)

그림 6. (a) 광변조기 내부 사진 (b) 광변조기 외부 사진

Fig. 6. Photographs of 10Gbps optical modulator. (a) cap open (b) packaged

광파이버가 2차적으로 고정되면 그림 5의 8)과 같이 페룰이 움직이지 않게 고정시키고 외부로부터의 진동 및 충격을 완화시키기 위하여 진동 및 충격 흡수용 패드를 부착시킨후 그림 5의 9)와 같이 하우징안에 내장시키고 Au 와이어본딩을 통한 SMA커넥터, 칩저항을 부착한다. 이 과정이 끝난 후 그림 5의 11)과 같이 외부패키지를 밀봉하므로써 패키징 작업을 마치게된다. 그림 6에 제작된 광변조기의 내외부 사진을 보였다.

III. 특성 및 평가

제작된 광도파로의 특성 및 광변조기의 변조대역, 구동전압, 삽입손실등의 특성을 분석하였다. 1050℃ 온도에서 8시간의 확산공정을 통하여 제작된 폭 $8\mu\text{m}$ 길이 $159,000\mu\text{m}$ 인 Mach-Zehnder형태의 Ti:LiNbO_3 광도파로가 1550nm파장대에서 단일모드인지를 확인하기 위하여 내부칩의 입력단에 편광유지파이버를 부착한후 출력측의 근시야상(near field pattern)을 관측하였다. 광도파로의 근시야상을 측정하기 위한 도파실험 구성은 1550nm 파장, 633nm 파장의 레이저광원이 2x1커플러를 통하여 광도파로에 동시에 입사할수 있게 구성하였고 출력단에는 x40 렌즈, IR viewer, 모니터등을 통하여 출력광파를 관찰할수 있게 하였다. 그림7은 1550nm 파장대에서 측정한 Ti:LiNbO_3 광도파로의 근시야상을 측정함으로써 단일모드임을 나타내고 있고 그림 8은 광도파로가 제작된 시편의 단면을 잘라서 Ti가 확산된 광도파로를 SIMS 촬영한사진이다.

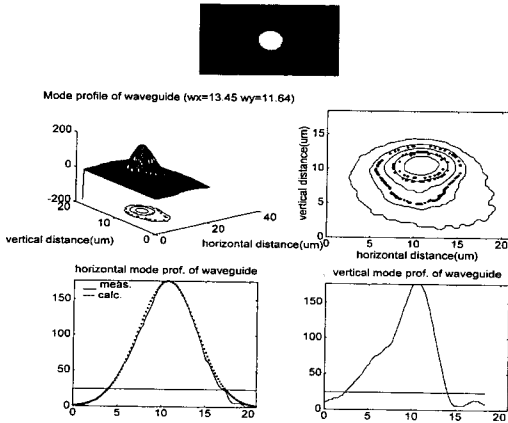


그림 7. 광도파로의 모드패턴 및 프로파일
 Fig. 7. The mode pattern and profile of optical modulator.

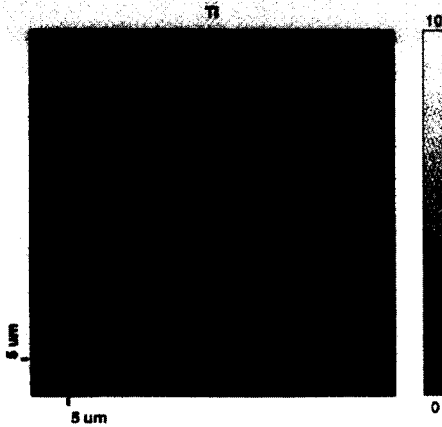


그림 8. Ti:LiNbO₃ 광도파로
 Fig. 8. The Ti:LiNbO₃ optical waveguide.

변조대역과 마이크로파 특성을 그림 9에 나타내었다. 특성을 분석하기 위한 장비로는 HP 8510C 회로 분석기(Network Analyzer)와 HP83420 광파테스트 세트(light wave test set)를 사용하였으며 E-O bandwidth 측정에서 -3dB optical response 는 10GHz 를 나타내고 있어 제작된 광변조기는 10 Gb/s급의 광전송시스템에 실장하여 사용할 수 있음을 확인하였다. S₁₁특성에서도 20GHz 까지 -10dB 이하를 유지하므로써 특성이 우수함을 증명하였고 스미스 차트에서 보는 것과 같이 임피던스 매칭이 잘 이루어짐을 알수 있었다.

그림 10은 1550nm의 레이저광원, 광신호를 전기신호로 변환시켜주는 라이트웨이브 컨버터, 주파수를 발생시키기 위한 신호발생기, 파형을 검출하기위한 오실

로스코우프를 이용하여 측정한 전달함수(transfer function) 그래프이다. 그래프에서 보는것과 같이 광 변조기 소자를 구동시키기 위한 전압은 5.6 V가 필요하다.

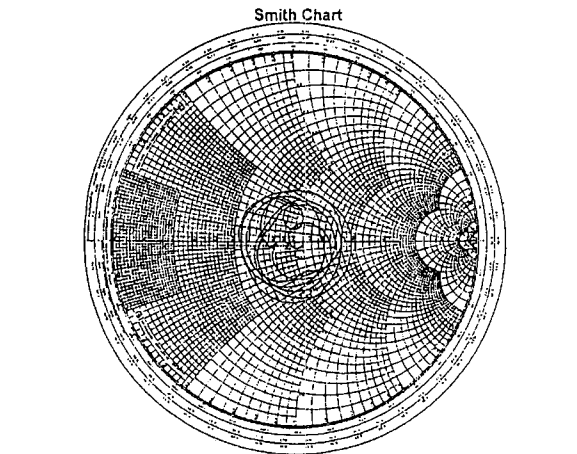
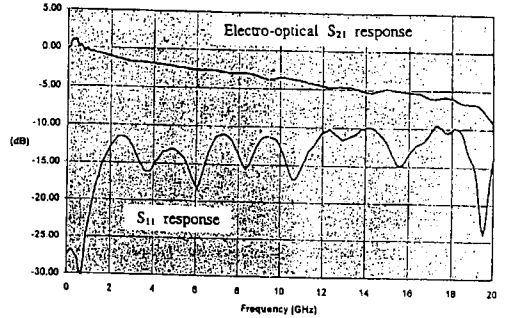


그림 9. 광변조기의 변조대역 및 마이크로파 특성
 Fig. 9. The modulation bandwidth and microwave characteristic of optical modulator.

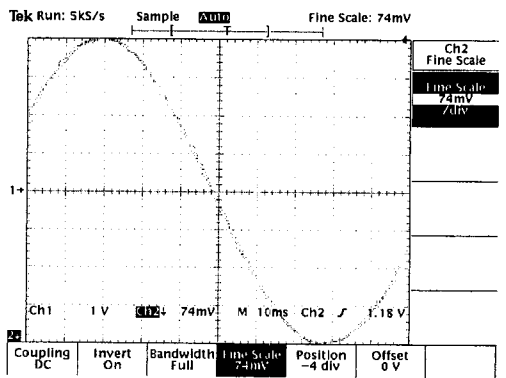


그림 10. 전달함수
 Fig. 10. Transfer Function.

제작한 광변조기 소자의 삽입손실을 그림 11과 같

은 방법으로 레이저 다이오드, 광편광조절기, 파워미터를 이용하여 측정 하였다. 레이저다이오드에서 나온광원이 편광조절기를 통하여 파워미터에서 읽힌 값을 Po로 하고 같은 조건의 레이저 다이오드에서 나온광원이 편광조절기와 광변조기를 지나 광검출기 값에서 읽힌 값을 P로 하여 그차로 계산하였다. 측정결과 광변조기 소자의 삽입손실은 4.2dB로 나타났다.

$$LOSS(dB) = Po(dB) - P(dB)$$

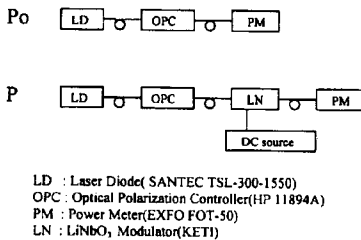


그림 11. 삽입손실 측정 블록도
 Fig. 11. The block diagram of insertion loss measurement.

펄스생성기를 이용하여 PRBS(pseudo random binary sequence) 2²³-1의 NRZ 신호로 외부변조했을 때 변조대역폭 20GHz인 광검출기를 이용하여 10Gbps eye pattern을 측정하였다. 그 결과 그림 12와 같이 eye pattern이 깨끗한 형태를 나타내는 것을 확인함으로써 특성이 우수한 소자임을 증명하였다.

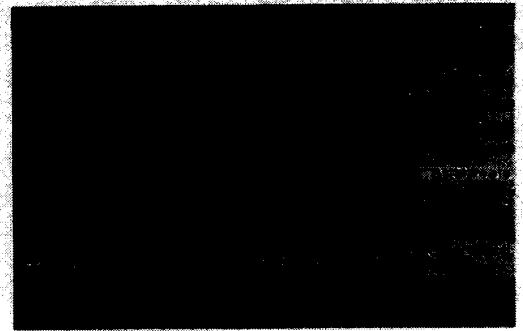


그림 12. 광변조기의 eye diagrams
 Fig. 12. The eye diagrams of optical modulator.

LiNbO₃ 기판을 이용 제작하여 현재 상용화되어있는 세계각국의 변조기 제품특성과 본 연구에서 개발한 변조기(KETI KIM1510X1)를 비교분석하여 표 1에 나타내었다. 사용파장은 1550nm가 대부분이며 소자마다 차이는 있지만 전체적으로 삽입손실은 3~6dB, 소광비는 15~30dB이다. 대역폭은 일본의 SUMITOMO사, 미국의 E-TEK사, UTP사, AT&T사 제품이 16~20GHz이며 영국 BT&D사, 일본 FUJITSU사, 이탈리아 PIRELLI사, 한국 KETI 개발품이 8~10GHz이고 미국의 RAMAR사, Crystal Technology사, 영국의 GEC사등에서 개발한 변조기가 1~7GHz의 변조대역특성을 나타내고 있다. 구동전압은 변조대역폭에 따라 차이가 있지만 일본의 SUMITOMO사, FUJITSU사 제품이 우수하며 소자의 안정적

표 1. 제조회사별 변조기특성비교

Table 1. Comparison of modulators fabricated by several companies.

특성 \ 제조회사	SUMITOMO	HOECHST	E-TEK	U.T.P	PIRELLI	AT&T	BT&D	FUJITSU	KETI
MODEL	T.MZ1.5-40	Y-35-5600	MEOM-20	APE1.5	PIRMZ15	M212AA	IOC2010	H74M-5208-J	KIM 1510X1
Operating W.L(μm)	1.55	.31	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
Insertion Loss(dB)	< 5	< 6	< 5.5	< 3	< 5	< 4	< 6	< 6	<4.2
Drive Voltage(V)	< 5.5	< 6	< 20	< 6.5	< 7	< 16	< 5	< 4	<5.6
Bandwidth (GHz)	18	8	20	18	8	16	10	8	10
Impedance (Ω)	50	50	50	50	50	43	50	50	50
RF Connector	K	SMA	SMA	SMA	SMA	K	SMA	SMA	SMA
PKG Size LW(mm)	160×20	42×25	64×27	101×23	85×23	127×23	74×40	90×25	120×20
Optical Extinction Ratio(dB)	>20	>25	>25	>30	>20	>30	>20	>20	>30
Optical Fiber	In : PMF Out : SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF	PMF SMF
Operating Temperature (°C)	10~40	-	-	-25~75	-	0~65	10~70	0~85	0~70

인 동작온도는 작게는 10~40°C 부터 크게는 -25~75°C까지 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 10 Gb/s 급 광전송 시스템에 채용 가능한 LiNbO₃ 광강도변조기를 제작하였다. 제작된 광변조기의 성능지수는 대역폭 10GHz, 구동전압 5.6 V, 삽입손실 4.2dB, 광소광비 30dB 로 나타났다. 제작된 광변조기는 저전압, 광대역성을 나타내어 향후 전개될 초고속 광대역 통신망의 10 Gbps급 광전송시스템에 활용할 수 있을 것이다. 아울러 본 연구를 통하여 축적된 광부품 제조기술은 앞으로 광전송용 부품 개발에 활용할 수 있을 것이며, 국내 광관련 연구의 활성화 및 기술수준을 높이는데 기여 할 것이다.

감사의 글

※ 본 연구는 전자부품종합기술 연구소의 정보통신용 핵심부품 개발 사업 일환으로 수행되었음을 알려드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K.Ogawa, "Optical Communication System at 40Gb/s and Beyond," OECC '97, pp. 8-9, 1997.
- [2] 한정희, 김종성, 이창희, 박문수, "LiNbO₃ 외부 변조방식의 10Gbit/s 광송신기 제작 및 특성측정", Photonics Conference '95, pp. 197-198, 1995
- [3] 윤대원 외, "수동광부품개발", KETI-RD-96091, 1996
- [4] Masayuki Izutsa, Y.Yamane, and T.Sueta, "Broad-band traveling-wave modulator using a LiNbO₃ optical waveguide," Journal of Quantum Electronics, vol. QE-13, no. 4, pp 287-190, April 1997.
- [5] R. V. Schmidt and Kaminow, "Metal-diffused optical waveguides in LiNbO₃," Appl. Phys. Lett., vol. 25, pp. 458-460, 1974.
- [6] J. L. Jackel, C. E. Rice, and J. J. Veselka, "Proton exchange for high-index waveguides in LiNbO₃," Appl. Phys. Lett., vol. 41, no. 7, pp. 607-608, 1982.
- [7] Haeyang Chung, William S. C. Chang, and Gary E. Betts, "Microwave properties of travelling-wave electrode in LiNbO₃ electrooptic modulator," J. Light. Technol., vol. 11, no. 8, pp. 1274-1278, 1993.
- [8] Haeyang Chung, William S. C. Chang, "Modeling and optimization of traveling wave LiNbO₃ interferometric modulator," Journal of Quantum Electronics, vol. 27, no. 3, pp. 608-617, 1991.
- [9] Michael R. Matthews, Brian M. MacDonald, and Keith R. Preston, "Optical components-The new challenge in packaging," IEEE Transactions on components hybrids and manufacturing technology, vol. 13, no. 4, pp. 798-806, 1990.

저 자 소 개



尹 炯 導(正會員)

1966年 5月 7日生. 1993年 2月 명지대학교 전자공학과 석사학위취득. 1997년 3월 성균관대학교 전자공학과 박사과정 입학. 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 전임연구원. 주관심분야는 Integrated Op-

tics, Passive Optical Device, Optical Package

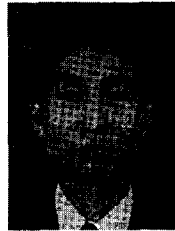
許 賢(正會員)

1967年 3月 14日生. 1996年 2월 전북대학교 전기공학과 박사과정수료. 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 전임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Optical Device. FEM해석



金 成 求(正會員)

1966年 1月 10日生. 1996年 2월 전남대학교 전기공학과 박사학위취득. 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 선임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Op-tical Device.



尹 大 源(正會員)

1949年 10月 7日生. 1971年 2월 한양대학교 전자공학과 졸업. 1984年 8월 Texas A & M 대학교 전기공학과 석사학위 취득. 1988年 12월 Texas A & M 대학교 전기공학과 박사학위취득. 1973年 ~ 1982年 금성정밀공업(주) 중앙연구소근무. 1989年 ~ 1991年 현대전자산업(주) 반도체연구소근무. 1991年 ~ 1994年 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구본부장. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Optical Device. Optical Package