

광변조기용 CPW 전극제작 및 전극 두께에 따른 유효굴절률 변화

임영삼
박계춘

Fabrication of CPW(coplanar waveguide) Electrode for Optical Modulator and Fluctuation of Effective Index for Electrode Thickness

Im Young-Sham
Park-Gye-Choon

Abstract -

본 연구에서는 LiNbO₃ 변조기에 사용되는 진행파형 coplanar-waveguide 형 전극을 제작하였다. 전극 두께를 변화시켜 전극을 제작하여 마이크로파 유효굴절률을 조사하였다. LiNbO₃ 광변조기 도파로의 유효굴절률과 정합되는 조건인 유효굴절률 2.2에 근접함을 알 수 있었다. 또한 진행파형 전극의 반사손실(S₁₁), 삽입손실(S₂₁) 등을 측정하여 광변조기에 적용할 수 있는 최적조건에 관하여 논의하였다.

1. 서 론

광통신망 구축에 핵심적이고 필수적인 광변조기는 미국과 일본 등 선진 각국에서 이미 자체 광통신 시스템에 탑재하여, 세계시장의 대부분을 점유하고 있는 상황이다. 그러나 국내에서는 광통신 수동부품기술개발에 요구되는 설계·요소기술이 낙후되어 있어 이러한 불균형을 해소하기 위한 방법 중 하나로 설계, 공정, 특성평가 및 표준화 등의 연구가 추진되어야 할 것으로 본다. 따라서 수동광 부품의 핵심요소인 광변조기 기술확보를 위해서는 전기광학 특성이 우수한 재료인 LiNbO₃, LiTaO₃에 Ti 확산으로 제작되어진 광도파로와^[1] CPW(coplanar waveguide), ACPS (asymmetric coplanar strip) 진행파형 전극구조를 이용하여 고능률, 광대역 광변조기를 제작기 위한 계속적인 노력과 기술축적이 요구된다.^[2]

이에 광변조기에 응용되는 LiNbO₃를 사용하여 진행파형 CPW 전극을 제작하고 이를 회로분석기를 사용하여 TDR 및 S-파라미터 특성을 분석하였다.

2. 실험 및 측정

광변조기 전극을 형성하는 CPW(coplanar waveguide) 전극구조 및 크기는 RF 신호를 인가하는 전극과 DC 바이어스 전압을 인가시키는 전극으로 분리하여 제작한 후 전기도금 시킨 것으로 이를 그림 1에 나타내었다. 전극상호작용길이는 18mm 와 15mm로 하였고 전극전체길이는 29071.08μm(15mm) 및 30828.4μm (18mm)로 제작하였다. 그림 1과 같이 광파와 RF 신호파가 상호작용하는 영역으로부터 SMA(Screen Manufacturers Association) 커넥터가 연결되는 부분까지의 거리는 총 6,000μm 이며, 상호작용부로부터 1차 테이퍼지게하고 1,000μm를 연장한 후 다시 2,500μm 를 테이퍼지게 설계하여 SMA 커넥터와 연결하였다.

광변조기 전극의 전체 제작공정은 그림 2와 같다. 시료 제작 과정은 Auto CAD 소프트웨어 tool을 이용하여 전극을 설계한 뒤 포토마스크 제작을 하고 준비된 웨이퍼 위에 금속전극을 올리기 전에 PECVD 진공장비를 이용하여 SiO₂ 버퍼층을 1μm 두께로 형성시킨다. 버퍼층을 올린 뒤 NiCr층과 Au층을 진공 증착하여 도금을 위한 기저금속층을 형성하였다. 도금후 다이징하여 패킹하고 본딩 후에 최종 특성을 분석하였다.

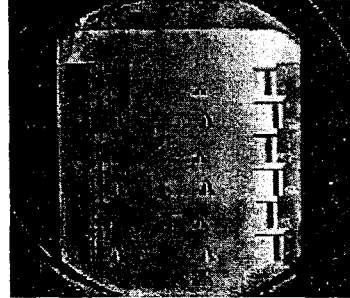


그림 1. 광변조기 전극도금.

Fig. 1. Electrode-electroplating of optical modulator

분석은 Hewlett Packard 사의 Network Analyzer 모델 HP83420A, Lightwave Test Set로 측정하였다.

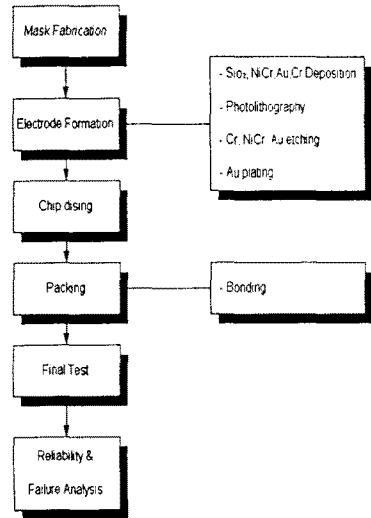


그림 2. 전극제작공정.

Fig. 2. Process of electrode.

금속전극은 광전계의 위상속도, 임피던스 부정합에 따른 손실을 발생시키므로 이를 감소시키기 위하여 전극을 제작하기 전에 도파로와 금속전극간에 low-index 유전버퍼층을 형성하였다. 본 연구에서는 버퍼층 형성 방법으로 PECVD 증착법을 이용하고 PECVD 내에서 N₂O, SiH₄, N₂ 를 사용하였으며, chamber pressure 800mtorr, 내부 챔버온도 310℃에서 155A/min 속도로 63분 증착하여 1 μm 두께의 산화막을 형성하였다. 금도금을 하기 위한 유도층으로서 포토리지스트층을 15μm두께로 코팅하였다.

전극이 형성될 부분만 노광시키는 방법으로 U.V노광장비와 Cr-mask를 이용하였다. 그리고 금도금될 부분만 에칭하였다. 다음단계로서 Au전극 패턴위에 전기금도금을 수행하였다. 도금액 조성은 금도금용 initial 농축액 용매에 KAu(CN)₂를 첨가하였다. 최종패키징은 내부칩을 외부패키지 안에 내장시킨 후 SMA 커넥터와 연결하고 임피던스 매칭을 위한 칩 저항을 부착시켜 외부패키지를 밀봉하였다.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 상품화되어 판매되는 광변조기의 전극특성을 보면, 잡음없이 전기광학변조를 성공적으로 얻기 위해서는 S-파라미터의 반사특성인 S₁₁이 요구되는 변조대역 전 범위에 대해서 -10dB 이하를 유지해야한다. 또한 이 점은 전달특성인 S₂₁의 -6dB 감소 점과 일치하며, 임의의 전극을 설계하고 제작하여 제반특성을 분석하고자 할 때 성능지수로서 효과적으로 활용할 수 있다. 따라서 측정에 사용한 CPW 전극상호작용길이(interaction length)는 그림 1에서와 같이 15mm와 18mm이며, 도금된 전극전체 길이는 15mm인 경우는 29mm 이고, 18mm인 경우는 30.8mm이다. 도금 두께제어는 도금시간과 거리를 조절하여 조절하였다.

그림 3은 3inch 코닝 유리에 전기도금으로 Au 전극을 제작한 다음 측정된 시편들의 특성이다. 전극두께가 증가함에 따라서 S-파라미터의 특성이 광대역화 됨을 보여주며, 두께 6.5 μ m 에서 S₂₁의 -6dB 점은 11.6GHz를 나타내었다. 이때 전극의 상호작용길이 15mm와 18mm 차이는 특별히 나타나지 않았고 두께가 증대할수록, 비슷한 곡선형태를 나타내었다.

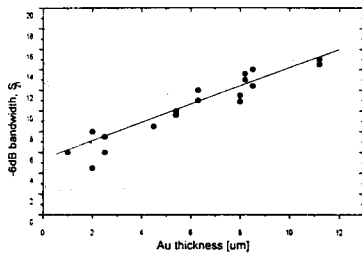


그림 3 전극두께에 따른 S₂₁ 특성(-6 dB)변화[Glass]
Fig. 3. S₂₁ properties as a function of electrode thickness.[Glass]

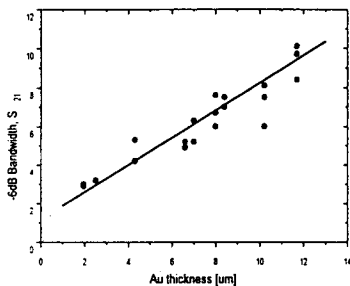
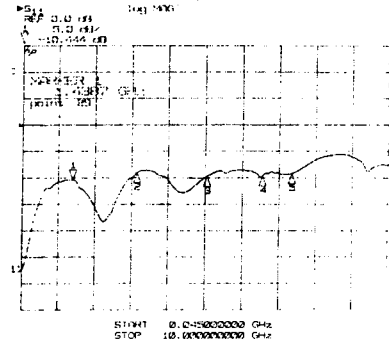


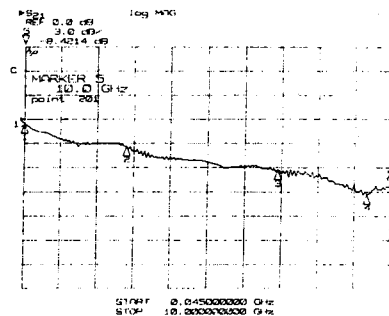
그림 4. 전극두께에 따른 S₂₁ 특성(-6 dB)변화 [z-cut LiNbO₃]
Fig. 4. S₂₁ properties as a function of electrode thickness.[z-cut LiNbO₃]

그림 4는 z-cut LiNbO₃ 위에 전극을 형성한 시편을 회로분석기로 S-파라미터를 측정하여 전송특성 S₂₁의 -6dB점을 두께 변화에 대하여 나타낸 것이다. 전극두께가 증가함에 따라서 -6dB점의 증가경향은 코닝유리위에 제작하였을 때와 비슷하지만 그 절대값과 증가기울기는 서로 다른 경향을 나타내었다. 이것은 CPW strip line의 등가적인 정전용량이 코닝유리에서 보다도 Lithium niobate 기판에서 매우 크기 때문에 CPW strip line 을 따라서 진행하는 파의 광대역성을 떨어뜨리는 것으로 본 실험에서는 광대역성이 떨어지는 효과를 나타내었다.

그림 5는 z-cut LiNbO₃ 위에 전극을 형성한 시편을 회로분석기를 사용하여 S₁₁, S₂₁을 측정하여 전극특성에 대하여 나타낸 것이다. 본 실험에서는 두께 증가가 곧바로 광대역화로 이어짐에 따라서 전극두께 10-11 μ m 근방에서는 그 대역폭이 8-9GHz로 나타났다.



(a)



(b)

그림 5. 전극특성 (a) S₁₁ (B) S₂₁
Fig. 5. Electrode properties(z-cut LiNbO₃)
(a) S₁₁ (B) S₂₁

그림 6은 전극두께 6.9 μ m, 전극길이 18mm 인 시편에 대하여 임피던스 불일치 영향을 나타내었다. 칩저항은 100 Ω - 51 Ω 까지 적절한 값을 선정하여 전극종단 양단에 병렬로 본딩하여 고정하였다. 낮은 대역일 수록 종단저항에 민감하게 변화하였으며 칩저항 75 Ω 을 양단 병렬 접속 하였을 때 가장 큰 S₁₁ 값인 -40dB를 나타내었다. 그러나 높은 대역으로 갈수록 그 편차가 매우 작았다. 따라서 광변조기를 제작하기 위한 전극의 특성이 S₂₁인 경우 -6dB 점까지, S₁₁인 경우 -10dB이하 점까지만 소자성능으로 사용하기 때문에 본 실험에 의해 제작된 시편의 종단임피던스는 실험 측정 결과 55 Ω 을 병렬연결 하였을 때 가장 좋은 특성을 나타내었고 이때 특성임피던스를 순수 저항치로만 환산한 경우에는 35.1 Ω 을 나타내었다.

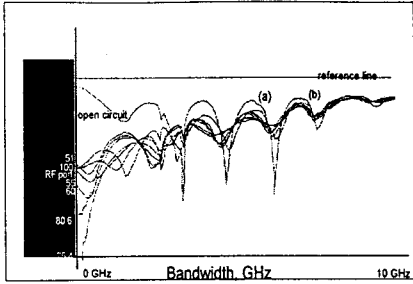


그림 6. 칩저항에 따른 S_{11} 특성.
Fig. 6. S_{11} properties as a function of chip resistor.

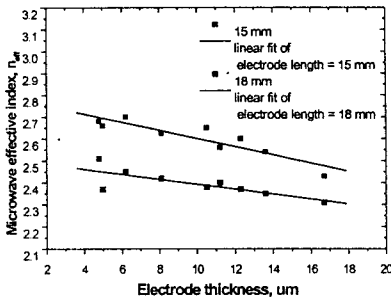


그림 7. 마이크로파 유효굴절율 n_{eff} 변화 측정치
Fig. 7. Experimental results of n_{eff} .

그림 7은 전극두께에 따른 n_{eff} 의 변화를 나타낸 것이다. 전극길이 15mm인 경우, 전극을 따라 흐르는 마이크로파의 유효굴절율이 2.8에서 2.5까지 변화하는데 18mm인 경우 2.5에서 2.3까지 변화하였다. 실험결과 전극두께가 10 μ m가 넘어서면서 광파의 유효굴절율인 2.2에 근접하는 것으로 나타났으며 이는 지금까지 보고된 것보다 다소 높은 전극두께이다. 이유는 설계시 마이크로파의 입력단자에서 상호작용거리까지 테이퍼지는 부분을 매우 길게 하였고 또한 급격한 각도로 꺾음으로서 전극특성에 악영향을 미친 것으로 보인다. 특성 중 전극길이 18mm인 경우가 다소 낮은 굴절율 분포를 보였는데, 15mm와 차이는 상호작용길이와 이어지는 테이퍼부분을 상대적으로 짧게 하였기 때문으로 사료된다. 이러한 결과로부터 전극설계시 주의해야 할 사항으로 마이크로파 입력부분의 테이퍼영역이 매우 중요하며, 현재 설계된 전극으로 광변조기에 응용할 경우, 전극 두께는 16 μ m 이상 도금하는 것이 양호한 특성을 나타낼 것으로 판단되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 광전송시스템에 사용 가능한 LiNbO₃ 변조기용 전극을 제작하고 반사특성(S_{11}), 전달특성(S_{21}) 및 전극의 두께의 변화에 따른 유효굴절율의 변화에 관하여 검토하였다.

결과는 다음과 같다.

- (1) 전극두께가 증대함에 따라서 S_{11} 특성이 개선되어 더욱 광대역성을 나타내었다.
- (2) 특성임피던스는 전극두께 6-8 μ m 근처에서 대략

35-40 Ω 을 나타내었다.

(3) 제작한 CPW 전극의 마이크로파 유효굴절율은 전극길이 15mm인 경우 2.8~2.5, 전극길이 18mm인 경우 2.5~2.3으로 변화하였으며 최적치는 전극두께 16 μ m 이상일 때로 실험결과 유추되었다.

(4) 측정 결과 55 Ω 을 병렬연결 하였을 때 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었고 특성임피던스를 순수 저항치로만 환산한 경우 35.1 Ω 을 나타내었다.

(5) 이런 결과로부터 제작된 전극특성으로 보아 5GHz 급 광변조기 제작에 이용 가능함을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] L. W. Stulz, "Titanium in-diffused LiNbO₃ optical waveguide fabrication," *Applied Optics*, Vol.18, No.12, pp.2041-2044, June 1979
- [2] Hisao Kawashima, Atsushi Toyohara, Ken-ichi Nakaya, Yuji Iseki, "Ti:LiNbO₃ optical waveguide switch and modulator," *NEC 技報*, Vol.45, No.10, pp.21-27, 1992
- [3] R. V. Schmidt and Kaminow, "Metal-diffused optical waveguides in LiNbO₃," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.25, pp.458-460, 1974.
- [4] 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.