

論文2001-38SD-5-5

광대역 광통신을 위한 LiNbO₃ 광변조기소자의 저손실 패키징 및 특성에 관한 연구

(Properties and low loss packing of LiNbO₃ Optical Modulator for a Broadband Optical Communications)

尹 炯 導 * , 李 漢 英 * , 尹 大 源 * , 李 景 植 * *

(Hyung-do Yoon, Han-young Lee, Dae-won Yoon, and Kyung-shik Lee)

요 약

광대역 초고속 광변조기소자 패키지와 연계되는 주요 문제점인 die feature, pigtailling, suppression of RF package resonance, RF launcher approach, termination approach의 5가지 특성을 차례로 분석한 후 우수한 특성이 나올수 있도록 소자를 패키징하였다. Microcoax에 의해 패키징된 변조기의 전기적 특성인 S₂₁은 10GHz 이상까지 -3dB 이상의 파위를 유지하였고, S₁₁은 18GHz까지 -15dB를 유지하였다. 10GHz까지 광파위는 최대값으로부터 3dB 이상 떨어지지 않았고 50km 전송실험 후 소광비는 약 10.6dB, 지터 값은 3.2ps로 양호한 값을 나타내어 패키징을 원만히 해결해야만 변조기의 변조 능력은 10GHz 이상임을 알 수 있다.

Abstract

The issues that influence the packaging of high-speed LiNbO₃ modulators are discussed, and packaging approaches that result in only minor degradation of the modulator's RF performance are described. The primary problems dealt in this paper, associated with high-speed device packaging, are fallen into the following five categories: die features, pigtailling, suppression of RF package resonance, RF launcher approach, termination approach. By considering factors to influence the modulator performance in packaging, a LiNbO₃ intensity modulator was fabricated and packaged to have S₂₁ better than -3dB upto 10GHz and S₁₁ below -15dB upto 18GHz.

I. 서론

광통신에 이용되는 광변조기 소자의 패키징 기술은 그 중요성이 점차 커짐에 따라서 최근에 상당한 발전을 보이고 있다^[1,2]. 패키징 성공여부에 따라 광변조기의 초고속 광대역 특성이 좌우 된다는 개념이 일반화되었

되었기 때문에 경제적 효율성이 매우 높은 패키지에 대한 여러 가지 디자인 및 기술이 제안되고 있다.^[3,4]

다수의 광소자의 패키징 방식이 광학적, 전기적, 기계적 문제점을 충분히 해결하고 있지 못하고 있는데, 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 신뢰성 있는 광섬유의 부착과 전기적 신호를 원만히 입출력시킬 수 있는 패키징 기술이 요구된다^[5,6]. 특히 레이저다이오드, LiNbO₃등과 같은 강유전체 판을 이용한 광도파로 소자, 광신호 통로로서의 단일모드 광섬유등을 포함하고 있는 광 집적회로(OEIC)의 패키징공정은 기판크기, 부착되는 광섬유의 수, 집적도 단계등의 제약으로 인하여 어려움이 많으나 이에 대하여 더 나은 패키징을 위한

* 正會員, 電子部品研究院 光部品研究 센터

(Korea Electronics Technology Institute, KETI)

** 正會員, 成均館大學校 電子工學科

(Sung kyun kwan Univ., School of Elec.Eng.)

接受日字:2000年11月1日, 수정완료일:2001年4月3日

연구들이 계속적으로 보고되고 있으며 많은 부분들이 기술적으로나 상업적으로 성공을 거두고 있다.^[7,8]

본 연구에서는 강유전체인 LiNbO₃기판을 이용하여 광변조기 칩을 제작한 후 광대역 초고속을 위한 패키징과 연계되는 주요 문제점인 die feature, pigtailling, suppression of RF package resonance, RF launcher approach, termination approach의 5가지 특성을 차례로 분석한 후 우수한 특성이 나올 수 있도록 소자를 패키징한 후에 그 특성을 분석하였다.

II. 광변조기칩의 접속 및 패키징

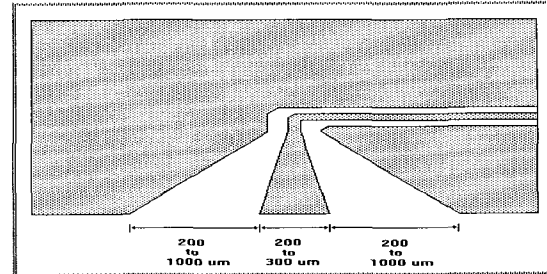
광변조기 패키지의 설계 과정 중에서 고려해야 할 가장 중요한 사항으로는 광소자와 광섬유를 어떻게 접속할 것인가 하는 문제를 해결하는 것인데 광파이버와 광도파로 사이의 모드 일치(mode size matching), 정렬 방법(precision alignment), 고정 방법(fixing method) 등에 유념하여 설계해야 한다.

LiNbO₃ 변조기 제작에 있어 패키지는 칩의 RF 특성에 영향을 주지 않아야 하며, 변조 속도가 높을수록 패키지의 중요도는 높아진다. 고속 소자 패키지와 연계되는 주요 문제점들은 크게 die feature, pigtailling, suppression of RF package resonance, RF launcher approach, termination approach 5가지로 분류될 수 있다.

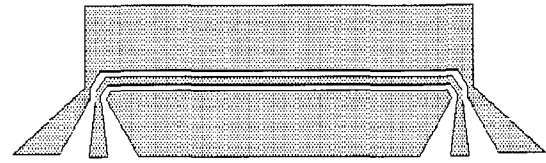
1. Die Feature

LiNbO₃ 칩은 먼저 나머지 패키지 공정과 호환이 있도록 준비되어야 한다. 가장 중요한 부분은 서로 크기가 다른 LiNbO₃ 칩의 액티브 영역의 CPW (coplanar waveguide)와 외부 커넥터와 연결시킬 수 있도록 적절한 크기를 가지는 입출력 패드와 연결시켜주는 전극 테이퍼의 설계이다. 이를 고려한 전형적 크기를 가지는 테이퍼부분을 아래 그림 1에 제시되어 있다. 그림 1에서 보듯이 테이퍼 영역에서의 중앙전극 폭은 약 200~300 μ m, 전극 사이 간격은 200~1000 μ m이 적절하다. 정확한 크기는 결정 방향, 금속과 버퍼층의 두께에 의해 결정된다. 테이퍼 영역에서 광/RF 위상 정합은 고려될 필요가 없으나, 특성 임피던스는 반드시 50 Ω 근처의 값을 가져야 한다. 전극의 가장자리와 칩 가장자리 사이의 거리는 중요한 사항이다. 물리적 거리는 가깝게 할수록 좋다. 그럼으로 인해 칩과 패키지간의 연결을 가

까이 할 수 있으며, 이 거리를 최소화할 수 있도록 칩 절단을 하여야만 전극과 패키지 사이에 발생하는 인덕턴스와 캐패시턴스를 억제할 수 있다.



(a)



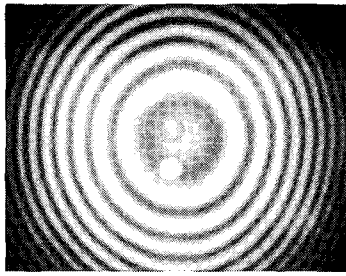
(b)

그림 1. 전극 크기 대략도; (a) 테이퍼 영역, (b) CPW 전극 구조

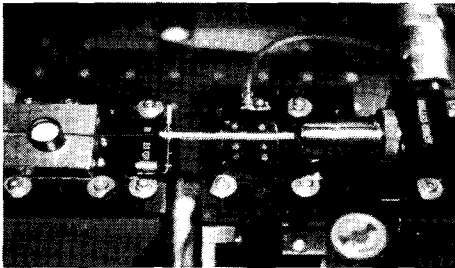
Fig. 1. Sketches of electrode; (a) taper design, and (b) electrode edge relative to die edge.

2. Pigtailling

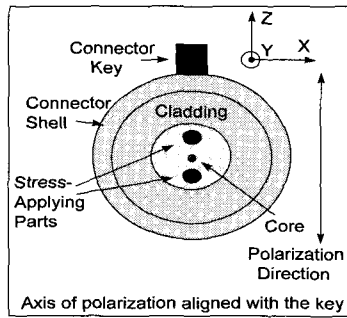
칩의 입출력면 연마가 끝나면 현미경을 사용하여 가장자리 부분을 확인하고 이상이 없으면 광원, tilt기능을 갖춘 x-y-z stage, optical power meter, 도파로 시편을 흔들리지 않게 붙잡아주는 역할을 하는 vacuum chuck 등을 이용하여 광파이버와 광소자를 접속시키는 피그 테일링 작업을 하게 된다. 광도파로와 광파이버간에 부착을 위한 결합에 있어 난제는 fiber-to-waveguide 간에 misalignment에 의한 광의 삽입손실을 줄이고, 광파이버를 광도파로에 붙인 뒤 온도나 습도, 충격 및 진동에 영향을 적게 받을 수 있도록 효율적이고 신뢰성 있게 부착하는 문제이다. 그림 2(a)는 도파로 광입력 단자에 접속되는 PMF를 페룰에 끼우고 에폭시로 고정된 후에 연마패드에서 연마된 단면을 보여주고 있다. 그림 2 (b)에 보인바와 같이 정렬장비에 도파로와 함께 놓고, 여기에 에폭시를 사용하여 접속하고 UV-광으로 굳힌 다음 마찬가지로 방법으로 출력부의 SMF접속도 마무리 하여 패키징 한다. 그림 2 (c)는 도파로측면에 연결하는 광파이버 페룰을 FC 커넥터에 정렬할 때 단면형태를 나타내었다. 커넥터 key에 stress rod가 일직선이



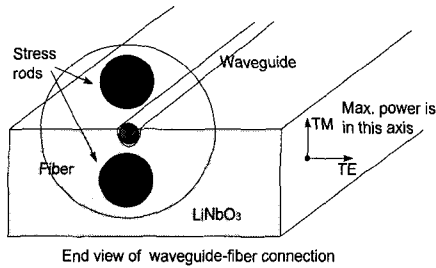
(a)



(b)



(c)



(d)

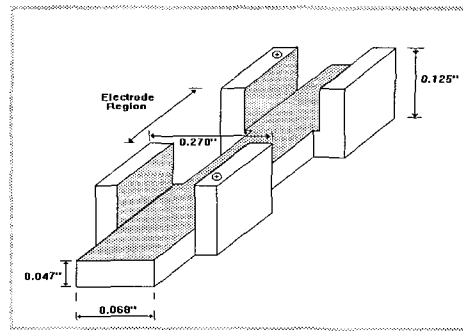
그림 2. PM 파이버 및 도파로 접속; (a) 폐물단면, (b) 정렬, (c) 편광보존파이버 커넥터 단면, (d) 접속.

Fig. 2. Pigtailling of a PM fiber to the waveguide; (a) cross section of a PM fiber under an interferometer, (b) photograph of alignment process, (c) Schematic of a PM fiber cross-section, and (d) Schematic of pigtailling of PM fiber to the waveguide.

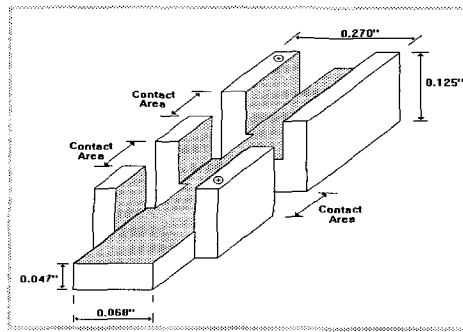
되도록 커넥터 부품에 에폭시로 정렬하고 단계별로 파이버 폴리싱 머신으로 연마한다. 최종단계에서 표면관찰기로 그 상태를 확인한후, 광도파로에 접속되는 페를은 광도파로 z-방향에 stress rod가 일치하도록 하고 이 방향으로 편광된 TM 모드 광원이 최대로 전달하도록 피그테일링하면 된다. 그림 2 (d)는 최종단계로 pigtailling된 칩의 PMF 광섬유와의 정렬 상태를 개략적으로 보여 주고 있다.

3. Package Resonance Suppression

패키지된 변조기를 측정할 때 종종 의사공진(spurious resonance)을 발견하게 된다. 전극 구조에서 고차 EM (electromagnetic) 모드에 의해 생성되는 의사공진은 1mm 두께를 가지는 LiNbO₃의 경우, CPW 전극 구조에서는 약 20GHz 이상의 주파수에서, CSW (coplanar strip waveguide) 전극 구조에서는 10GHz



(a)



(b)

그림 3. LiNbO₃ 칩 고정과 의사공진억제를 위한 고주파 흡수체 마운트의 설계도

(a) Entire electrode region open, (b) only electrode contact areas open.

Fig. 3. Schematics of die submounts made of a microwave absorbing material: (a) Entire electrode region open, and (b) only electrode contact areas open.

이상의 주파수에서 생성되는데 LiNbO₃를 얇게 하면 공진 주파수는 증가한다. 따라서, CPW 전극 구조를 가지는 10Gbps LiNbO₃ 고속 변조기에서는 고차 EM 모드에 의한 공진은 나타나지 않는다. 또 다른 의사공진은 금속 패키지 내에 존재할 수 있는 EM 캐비티에 의한 공진이다. 전극, 특히 전이 (transition)가 일어나는 영역은 EM 파워를 발산시키게 된다. 이 때 방사되는 파워는 내부 패키지 구조 양상에 따른 주파수에서 공진을 일으키게 되는데 이를 억제시키기 위한 노력이 필요하다. 가장 효과적인 방법중의 하나가 패키지 내에 고주파 흡수체를 사용하여 방사되는 파워를 감쇠시키고, 캐비티의 Q값을 낮추는 것이다. 이를 위한 대표적인 물질은 에폭시 레진에 carbonyl iron이 섞여져있는 분산체이다. 이 물질의 감쇠 특성은 다음식(1)과 같다.

$$2.91 (F_{GHz})^{1.39} dB/inch \quad (1)$$

LiNbO₃ 변조기 칩은 우레탄 성분의 UV 에폭시를 10mm 간격으로 LiNbO₃ 칩 아래에 떨어뜨려 패키지 내부에 고정시킬 수 있다. LiNbO₃ 고정을 위한 고주파 흡수체 마운트의 개략도는 그림 3에 나타나 있다. 그림 3(a) 와 3(b)는 LiNbO₃ 칩 전극간이 open 또는 오직 전극 연결을 위한 부분만 open되어 있는 경우에 대해 설계된 것이다.

4. RF Launcher Approach

변조기 패키지에서 가장 중요한 부분의 하나는 변조기의 전극과 RF 신호를 연결하여 주는 RF launcher 설계이다. 이를 위해 고려해야할 사항은 커넥터 종류와 내부 패키지 부품이다. 10Gbps 변조기 규정 커넥터는 SMA 커넥터로 “spark plug”와 “flange” 두 종류가 있다. 이외 커넥터와 변조기 전극을 연결하여주는 내부 연결 회로가 필요하게 되는데 내부 연결 회로는 주로 알루미늄 위에 형성되어지며, microstrip, CPW 또는 두 방법을 모두 이용해 형성되어질 수 있다. 또 다른 방법으로는 알루미늄 기판을 이용하지 않고 짧은 길이의 microcoax를 이용하는 방법도 있다. 어느 방법을 선택 하더라도 중요한 점은 그것의 특성 임피던스가 50Ω이어야하며, 손실이 적어야 한다.

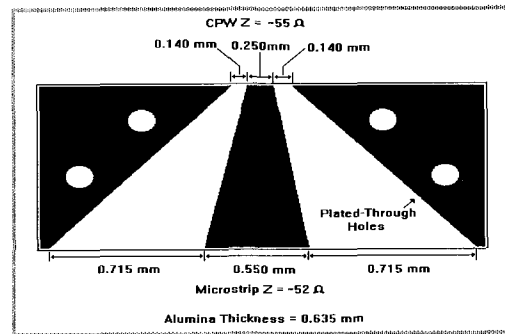
1) 변조기 전극과 커넥터와의 연결 : Microstrip

Microstrip 회로는 알루미늄 기판의 윗면에는 하나의 전기선 (electrical trace)이 있고, 아랫면은 접지면으로 되어 있다. 기판위에 인쇄된 전기선의 폭은 칩 전극 테

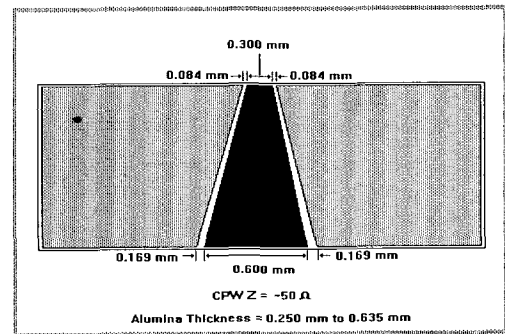
이퍼의 폭과 일치해야 한다. Microstrip의 임피던스를 50Ω에 맞추기 위해서는 알루미늄 두께는 전기선의 폭과 같아야 한다. 이를 이용하는 기법은 테이퍼 간격이 0.5mm 이상일 때 유리하다. 알루미늄 회로 높이는 변조기 전극 높이와 같아야하며, 둘 사이의 연결은 가능한 짧은 금 리본으로 여러 번 연결하는 것이 인덕턴스를 줄이는데 도움이 된다.

2) 변조기 전극과 커넥터와의 연결 : Coplanar Waveguide

CPW 회로는 알루미늄의 위 쪽 표면에 세 개의 전기선을 형성시킴에 의해 얻어진다. 중앙 전기선의 폭은 변조기 전극의 테이퍼 폭과 일치하여야 한다. 중앙 전기선과 접지 전기선과의 간격은 50Ω 임피던스가 얻어지도록 설계되어야 하며, 중앙 전기선에 임피던스 50Ω을 유지하면서 테이퍼를 주면 커넥터와의 연결이 용이해진다. Microstrip 방법과 다른 점은 Microstrip 방식에서는 테이퍼를 줄 수 없다는 점이다. Microstrip 방식에서와 마찬가지로, 알루미늄 회로 높이는 변조기 전극 높이와 같아야 한다.



(a)



(b)

그림 4. 내부 연결 회로; (a) Microstrip/CPW 조합, (b) 단순 CPW 구조
Fig. 4. Interconnect circuits; (a) Microstrip/CPW combination, and (b) simple CPW.

3) 변조기 전극과 커넥터와의 연결 : Microstrip/CPW 조합

변조기 전극과 커넥터와의 연결을 위해 사용할 수 있는 세 번째 방법은 microstrip과 CPW를 조합하는 것이다. 이를 이용하면 변조기 전극 테이퍼와 커넥터 핀과의 연결이 용이해지는 장점이 있다. 이러한 접근 방식은 그림 4(a)에 잘 나타나 있다. 그림 4(b)에는 단순 CPW 구조를 가지는 연결회로의 크기가 나타나 있다. 그림 4(a)와 (b)를 비교해 보면 단순 CPW 구조에서는 도선 에폭시등을 이용한 회로와 커넥터 핀과의 연결이 쉽지 않음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 어떤 방법을 쓰더라도 변조기 전극과 커넥터와의 연결을 위해서는 금 리본이 이용되어야 한다. 이를 위해서는 패키지 내부는 와이어 본딩 (wire-bonding)을 위해 금 도금이 되어야 한다.

4) 변조기 전극과 커넥터와의 연결 : Microcoax

변조기 전극과 커넥터와의 연결을 위해 네 번째로 쓰일 수 있는 방법은 짧은 길이의 microcoax와 연결되어 있는 "flange"형 커넥터를 사용하는 것이다. 이 방법을 이용하면 패키지 내부의 다단계 커넥션을 피할 수 있으며, 알루미늄 위에 연결회로 제작을 위한 위상 마스크 제작등을 할 필요가 없으므로 소량의 변조기 제작시 유리하다. 그림 5는 microcoax를 이용한 변조기 전극과 커넥터 간의 연결을 보여준다.

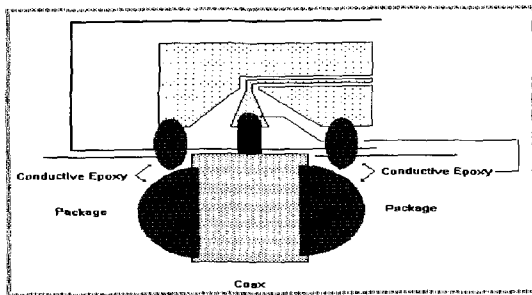
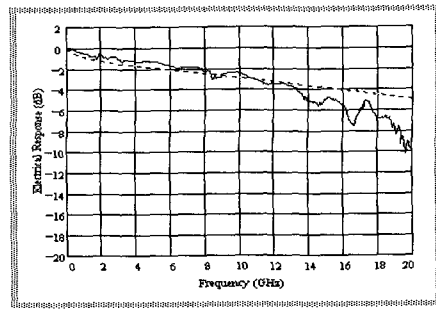


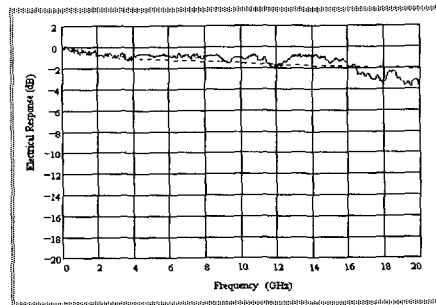
그림 5. microcoax를 이용한 변조기 전극과 커넥터 간의 연결

Fig. 5. Sketch of connection made with microcoax.

위에서 언급한 네 가지 방법 모두 10Gbps 변조기를 위해 사용할 수 있으며, 더 높은 주파수에서는 변조기 패키지에서 발생하는 기생 공진을 피하는데 유리한 방식을 택하여 패키징하여야 한다. 그림 6에 Microstrip/CPW와 microcoax에 의해 패키징된 변조기의 고주파 특성이 비교되어 있다.



(a)



(b)

그림 6. 패키지 방식에 따른 변조기의 주파수 특성; (a) Microstrip/CPW 조합형, (b) Microcoax 방식

Fig. 6. Measured response for packaged devices; (a) microstrip/CPW combination, and (b) microcoax.

5. Termination Approach

최적화된 변조기 특성을 얻기 위해서는 진행파 (traveling-wave) 전극은 전극의 특성 임피던스와 같은 저항으로 터미네이션되어야 한다. 이를 위해 일반적으로 두 가지 방식이 널리 사용되고 있다; 하나는 패키지 내부에 칩 저항을 연결하는 것이고, 다른 하나는 패키지 외부에 SMA 형식의 터미네이션을 달아 주는 것이다. 두 가지 방식 모두 좋은 RF 특성을 보이나 칩 저항의 경우 패키지 내부에 열을 발생시킨다.

1) 칩 저항 터미네이션

칩 저항의 사용은 SMA 터미네이션 방식에 비해 커넥터를 하나 줄일 수 있다는 장점을 지니고 있다. 칩 저항은 그림 7 (a)에 보이는 바와 같이 50Ω 하나만을 사용하든지, 또는 파워 소산이 클 경우 그림 7 (b)와 같이 100Ω 두 개를 병렬로 하여 사용할 수가 있다.

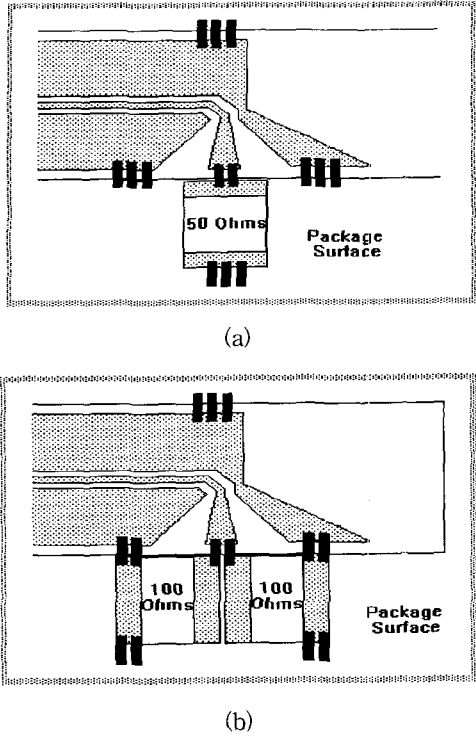


그림 7. 칩 저항에 의한 터미네이션;
 (a) single 50Ω터미네이션, (b) two 100Ω resistor in parallel
 Fig. 7. Chip-resistor termination approaches;
 (a) single 50Ωtermination, and (b) two 100Ωresistors in parallel.

2) 스크류형 SMA 터미네이션

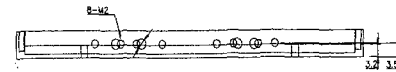
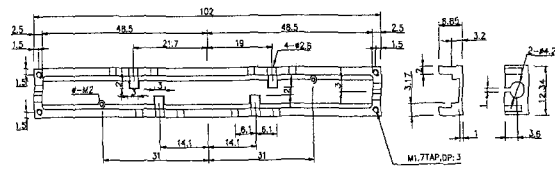
스크류 타입의 SMA 커넥터를 터미네이션으로 사용하기 위해서는 입력 단자와 마찬가지로 패키지 내부에 연결 회로가 있어야 한다. 이 방식의 장점은 RF 전기적 특성이 정확하게 측정될 수 있다는 것이다. 예로서, S₂₁이 측정될 수 있고 이로부터 RF 감쇠값이 유추될 수 있고, 패키지후 DC 저항값등도 측정 가능하다. 또 다른 값을 가지는 터미네이션을 이용해 광학 특성을 알아볼 수도 있다. 다른 장점으로 RF 파워에 의해 발생하는 열을 외부의 터미네이션으로 보내 변조기가 보다 안정적으로 작동할 수 있다는 점이다.

III. 외부하우징 제작

그림 8은 변조기 칩 패키징을 위한 외부하우징 설계도면을 보여준다. 제작된 칩의 RF 특성이 패키징에 의해 저하되지 않도록 앞서 언급한 문제들을 고려하여

제작되었다. 터미네이션은 SMA 커넥터 타입이 되도록 하였다.

재질은 열과 진동 및 충격으로부터 소자의 내부칩을 보호하기 위하여 황동을 사용하였으며, 고주파특성 손실을 줄이기 위하여 표면에 금도금을 하였다. 또, 매우 소형화된 크기가 되도록 외부 패키지를 설계하였으므로 DC 입력신호 SMA connector, 강도변조기RF 입력신호 SMA connector, 위상변조기 입력신호 SMA connector 와 terminal SMA connector가 서로 단락되지 않도록 적절한 간격을 유지하게 하였다. 외부하우징 표면에는 Optical Integrated Modulator, 위상 변조를 위한 PM, BIAS, TERM, RF부분을 각각 표시하여 SMA 커넥팅할 때의 혼동을 방지하였다.



(a) 설계도 (b) 외형
 그림 8. 외부하우징설계 및 패키징된 외형 (a) 설계도 (b) 외형
 Fig. 8. Packaged 10Gbps LiNbO₃ optical modulator; (a) package drawing, and (b) photograph of the packaged modulator.

IV. 패키징된 변조기 특성

1. 구동 전압

진행파형 CPW 형 전극구조를 완전 구동시키는데 요구되는 구동전압은 일반적으로 $V_{\pi} \propto 1/L$ 의 관계가 있다. 여기서 L은 전극상호작용 길이인데 작용길이를 늘림으로서 구동전압을 직접적으로 제어할 수 있다. 물

론 구동전압을 낮게 하는 방법으로 도파로 및 전극 dimension을 차별화하고 전극의 감쇠인자를 낮추는 방법등이 사용되지만 가장 효과적인 방법은 길이 L 을 늘리는 방법이다. 물론 이로 말미암아 도파로 길이가 길어짐으로 인한 삽입손실의 증대라든지 광소광비 등의 감소의 단점을 수반하게 된다.

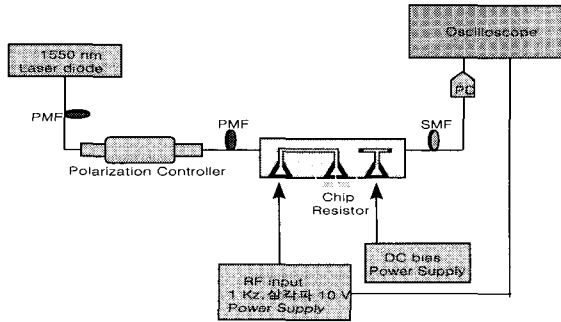


그림 9. 구동전압 측정
Fig. 9. Measurement of driving voltage.

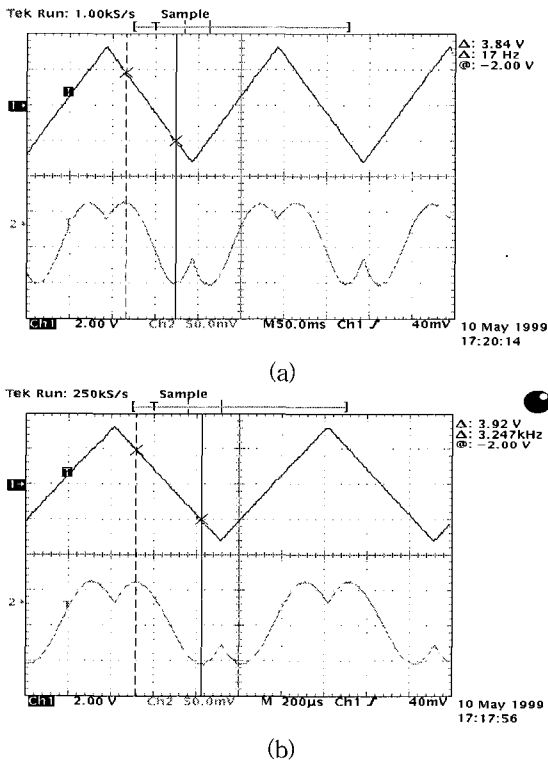


그림 10. 상호작용거리 35,000 μm 를 가지는 변조기에 인가된 RF 삼각파 신호에 의한 광출력의 변화;
(a) 5Hz, (b) 1kHz
Fig. 10. Optical intensity response to triangular RF signals applied to an modulator with 35,000 μm at (a) 5Hz and (b) 1kHz.

전극 길이가 35,000 μm 인 변조기의 구동 전압을 다음 그림 9와 같이 측정하였다. 변조기의 RF 포트에 저주파의 삼각파를 인가하여 광출력의 위상이 180° 변하게 되는 전압을 읽었다. 그림 10(a)와 (b)는 인가한 삼각파의 주파수가 각각 5Hz와 1kHz일 때, 이에 따른 광파워의 변화를 보여주고 있다. 5Hz일때의 구동 전압 3.84V에 비해 1kHz일 때 3.92V로 증가하였지만 범용적으로 쓰이고 있는 상용 드라이버에 의해 공급되는 전원값, 5.3V까지는 1V 이상의 여유가 있었다. 일반적으로 1kHz에서의 구동전압 값과 수 GHz에서의 구동전압 값은 큰 차이가 없는 것으로 받아들여지고 있으므로, 구동전압 값을 5.3V까지 끌어올리기 위해 전극 상호작용 길이를 28,000 μm 로 감소시켰다. 이로 인해 정확한 5.3V의 구동 전압을 얻을 수 있었다. 상호작용 길이를 짧게함으로 해서 얻는 이점은 삽입 손실의 감소, 광소광비의 증대, 그리고 변조 대역폭의 증대를 꼽을 수 있다. 변조 대역폭은 다음 식 (2)에 보여지는 바와 같이 상호작용거리에 반비례한다.

$$\text{Bandwidth} \cong 1.4c / [\pi L(n_{\text{eff}}^m - n_{\text{eff}}^o)] \quad (2)$$

2. S parameter

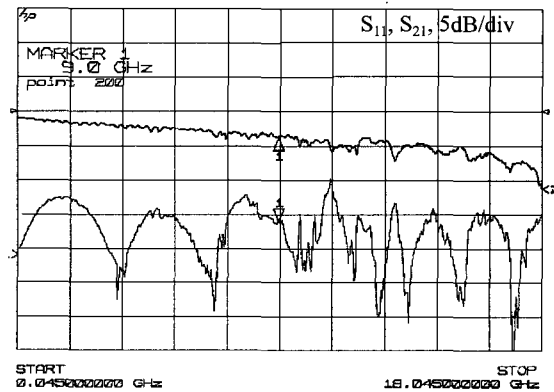


그림 11. 패키징된 변조기의 0.45GHz~18GHz 대역에서의 전기적 특성; 윗 곡선: S₂₁, 아래 곡선: S₁₁
Fig. 11. Transmittive (S₂₁, upper curve) and reflective (S₁₁, bottom curve) properties of a packaged optical modulator at 0.45GHz to 18GHz.

그림 11은 microcoax에 의해 패키징된 변조기의 전기적 특성을 0.045GHz에서 18GHz 주파수 대역에서 보여주고 있다. 입력측으로부터 출력측으로의 RF 파워

전송 특성을 나타내는 S₂₁은 그림 11의 윗 곡선에 나타나 있다. 10GHz 이상까지 -3dB 이상의 파위를 유지하였다. 이는 50% 이상의 RF 파워가 10GHz 이상의 주파수까지 입력측으로부터 출력측으로 전달됨을 의미한다. 그림 11의 아래 곡선은 측정된 S₁₁을 보여준다. 그림에서 보여지는 바와 같이 측정 주파수 전 범위에서 -15dB 정도를 유지했다. S₁₁은 입사된 파워중 반사되는 양을 나타내므로 측정된 값은 전체 주파수 범위에서 반사되는 RF 파워의 양이 극히 미미함을 나타낸다.

따라서 상기 방식으로 패키징하여 제작된 광변조기는 저주파에서 고주파 대역까지의 광대역에서 임피던스 매칭이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

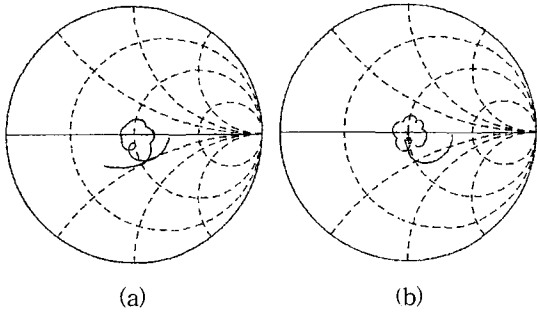


그림 12. 0.45GHz~18GHz 대역에서 패키징된 변조기의 특성 임피던스를 보여주는 Smith chart. (a) S₁₁, (b) S₂₁

Fig. 12. Smith charts to show characteristic impedance of a packaged optical modulator at 0.45GHz to 18GHz; (a) S₁₁, and (b) S₂₁.

3. 변조 대역

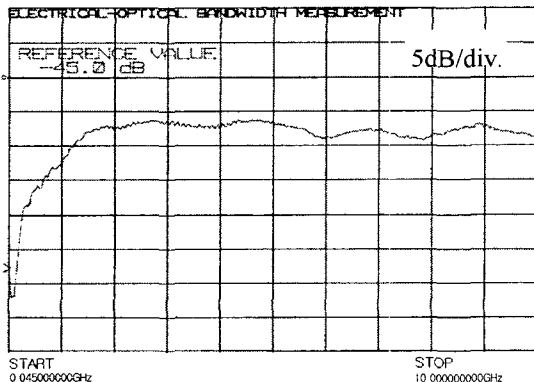
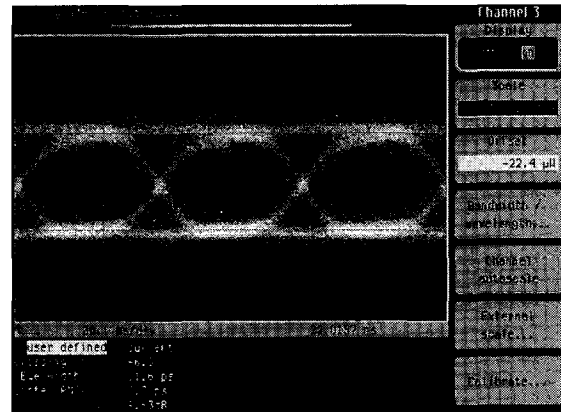


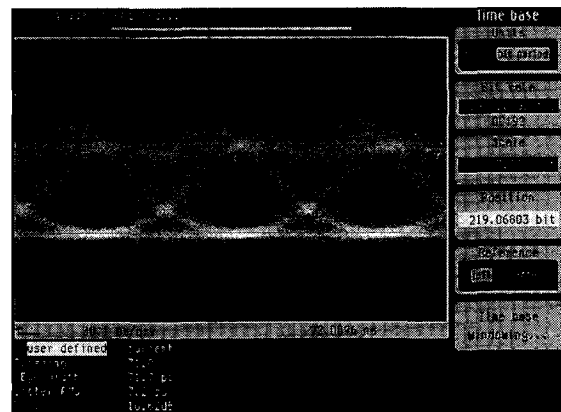
그림 13. 패키징된 변조기의 E/O 특성
Fig. 13. Electro-optic measurement result of a packaged modulator.

RF 주파수에 따른 입사한 광파워의 출력 변화를 관찰하였다. 0.45GHz에서 10GHz까지 광파워는 최대값으로부터 3dB 이상 떨어지지 않았다. 그림 13은 측정된 변조기의 E/O (electro-optic) 특성의 결과를 보여주고 있다. 이 결과로부터 패키징을 원만히 해결할때 변조기의 변조 능력은 10GHz 이상이 됨을 알 수 있다.

4. 전송 실험



(a)



(b)

그림 14. 광전송 필드 테스트에 의한 eye pattern; (a) back-to-back eye diagram, (b) 50km 광전송후의 eye diagram

Fig. 14. Eye patterns of a packaged optical modulator; (a) back-to-back eye diagram, and (b) eye diagram after 50km transmission.

패키징된 광변조기의 필드 테스트를 위해 펄스 패턴 발생기를 PRBS (Pseudo-random bit sequence) 27-1로 동작시켜 인가시키고 광변조기 출력단자로 변조된 광원을 EDFA로 증폭시켜 eye 패턴을 조사하였다. 패

턴발생기에서 변조기 구동회로를 거쳐서 변조기 전극 출력단자 바로 후에 측정된 eye 패턴 (back-to-back eye pattern)을 그림 14(a)에 나타내었고, 그림 14(b)는 50km 광전송후 측정된 eye-pattern을 보여준다. 50km 전송후 소광비는 약 10.6dB, 지터 (jitter)값은 3.2ps 값을 나타내었으며, floor가 발생하기 시작하였는데 이는 측정시 광변조기의 DC 점을 제로 처프 포인트에 맞추지 못하였기 때문인 것으로 여겨진다.

V. 결 론

LiNbO₃ 변조기 제작에 있어 패키징은 칩의 RF 특성에 영향을 주지 않아야 하며, 변조 속도가 높을수록 패키징의 중요도는 높아진다. 고속 소자 패키징과 연계되는 주요 문제점들을 die feature, pigtailling, suppression of RF package resonance, RF launcher approach, termination approach 5가지로 분류하여 패키징하였다. Microstrip/CPW와 microcoax에 의해 연결된 변조기의 고주파 특성을 비교하였을 때 10GHz 이상에서는 microcoax의 특성이 우수함을 알 수 있었다.

패키징후 구동전압은 5Hz일때의 구동 전압 3.84V에 비해 1kHz일 때 3.92V로 증가하였지만 범용적으로 쓰이고 있는 상용 드라이버에 의해 공급되는 전원값, 5.3V까지는 1V 이상의 여유가 있었다. Microcoax에 의해 패키징된 변조기의 전기적 특성을 0.045GHz에서 18GHz 주파수 대역까지 측정하였을때 입력측으로부터 출력측으로의 RF 파워 전송 특성을 나타내는 S21은 10GHz 이상까지 -3dB 이상의 파워를 유지하였고 S11은 측정 주파수 전 범위에서 -15dB 정도를 유지했다. 따라서 상기 방식으로 패키징하여 제작된 광변조기는 저주파에서 고주파 대역까지의 광대역에서 임피던스 매칭이 잘 이루어졌음을 알 수 있다. RF 주파수에 따른 입사한 광파워의 출력 변화를 관찰하였는데 0.45GHz에서 10GHz까지 광파워는 최대값으로부터 3dB 이상 떨어지지 않았다. 패키징된 광변조기의 펄드 테스트를 위해 펄스 패턴 발생기를 PRBS (Pseudo-random bit sequence) 27-1 로 동작시켜 인가시키고 광변조기 출력단자로 변조된 광원을 EDFA 로 증폭시켜 eye 패턴을 조사하였고 50km 광전송후 측정된 eye-pattern에서 소광비는 약 10.6dB, 지터 (jitter)값은 3.2ps로 양호한 값을 나타내었다. 이 결과로부터 광과 전기적신호를

위한 패키징을 원만히 해결할때 변조기의 변조 능력은 10GHz 이상이 됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] R. A. Becker, B. E. Kincaid, "Rugged, Low-Cost Pigtailling Approach for LiNbO₃ Integrated Optic Devices", IEEE Journal of Lightwave Technology, VOL.12, NO.1, pp. 44~48, 1994.

[2] 윤형도, 이한영, 윤대원, "Ti:LiNbO₃ 광변조기 소자의 패키징 및 전기·광학적특성", 전자공학회지 제35권 D 편 제6호, pp. 72~78,1998

[3] Michael R. Matthews, Brian M. Macdonard, Keith R. Preston, "Optical Components-Challenge in Packaging", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol. 13, no.4, pp. 798~806, 1990.

[4] Leslie A. Reith, James W. Mann, Chung-en Zah, "Single-Mode Fiber Packaging for Semiconductor Optical Devices", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol.13, no.4, pp. 791~797, 1990.

[5] Bernd Valk, Rainer Battig, Olivier Anthamatten, "Laser Welding for Fber Pgtailing with Long-term Stability and Submicron Accuracy", Optical Engineering, vol. 34, no. 9, pp. 2675~2682, 1995.

[6] Michael J. Wale, Colin Edge, "Self-Aligned Flip-Chip Assembly of Photonic Devices with Electrical and Optical Connections", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol. 13, no. 4, pp. 780~786, 1990 .

[7] Richard A. Soref, "Silicon-Based Optoelectronics", Proceeding of The IEEE, vol.81, no.12, Dec.1993.

[8] Paola Cinato, Kenneth C. Young, "Optical Interconnections within Multichip", Optical Engineering, vol.32, no.4, pp. 852~860, 1993.

저 자 소 개

尹炯導(正會員) 第 37卷 SD編 第 11號 參照

尹大源(正會員) 第 37卷 SD編 第 11號 參照

李漢英(正會員) 第 37卷 SD編 第 11號 參照

李景植(正會員) 第 36卷 D編 第 11號 參照