

論文98-35D-6-10

Ti:LiNbO₃ 광변조기 소자의 패키징 및 전기·광학적 특성

(The study of the packaging for Ti:LiNbO₃ optical modulator device and its electrical and optical characteristics)

尹炯導*, 金成求*, 李韓諤*, 尹大源*

(Hyung-Do Yoon, Seong-Ku Kim, Han-Young Lee, and Dae-Won Yoon)

요 약

Ti:LiNbO₃ 광도파로위에 CPW 전극 구조를한 광변조기 내부칩을 제작한 후 일련공정에 따라 패키징 작업을 하였고 소자의 전기적특성과 광학적특성을 측정하였다. 광변조기 패키징을 위하여 페룰, 보조용 LN블럭 및 글래스, 진동 및 흡수용패드, 알루미늄피더의 부분품을 사용하였으며 피그테일링, Au 와이어본딩, 에폭싱, SMA커넥팅, 실링 작업을 수행하였다. 전기적 특성에서 S₂₁은 -3 dB 점에서 9.8GHz의 값을, S₁₁은 14.4 GHz 대에서 -8.9 dB 값을 나타내었다. 광학적 특성은 제작된 광도파로가 1550nm 파장대에서 단일모드를 만족하였고, 패키징후 소자의 삽입손실은 실온에서 4.3 dB 이었으며, 소자를 온도감압챔버에 넣은후 5~45 °C 까지 온도변화를 주었을 때 4.3~6.4 dB 의 삽입손실을 보였다. E-O bandwidth 응답은 3dB점에서 7.8GHz를 나타내어 10Gbps급 광통신시스템에 응용할수 있음을 확인하였다.

Abstract

An optical modulator Ti:LiNbO₃ optical waveguide and CPW electrode structure were fabricated. The optical modulator was packaged using components such as ferrules, dirmy LN block and glass, vibration and shock absorbption pad, and alumina feeder through processings of pigtailling, Au wire bonding, epoxing, SMA connecting, sealing. The electrical and optical characteristics were measured after packaging. The electrical properties of S₂₁ and S₁₁ were obtained as 9.8 GHz at -3 dB and -8.9dB at 14.4GHz, respectively. Optical waveguide prepared met requirements for a single mode at a 1550nm wavelength range. Insertion loss was 4.3dB at room temperature after packaging, and was varied 4.3~6.4dB at various temperatures, 5~45 °C. E-O bandwidth measurement showed 3dB optical response at 7.8GHz, which means that it is applicable for 10Gbps optical communication

I. 서 론

광통신 시스템에 이용되는 광소자의 패키징 기술은 그 중요성이 점차 커짐에 따라서 최근에 상당한 발전을 보이고 있다. 과거에는 제작된 칩 자체의 성능에도

신뢰성이 부족하여서 이에 대한 연구가 집중되었기 때문에 소자의 패키징은 다소 소홀한 대접을 받았지만 오늘날 대부분의 광소자는 전체적인 성능(performance), 비용(cost), 신뢰성(reliability) 등이 패키징 성공여부에 따라 좌우된다는 개념이 일반화되었기 때문에 경제적 효율성이 매우 높은 패키징에 대한 여러 가지 디자인 및 기술이 제안 되고 있다^{[1] [2]}.

다수의 광소자의 패키징 방식이 광학적, 전기적, 기

* 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7月24日, 수정완료일:1998年5月27日

계적 문제점을 충분히 해결하고 있지 못하고 있는데, 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 신뢰성 있고 강인한 광섬유의 부착과 부분품을 이용한 패키징 기술이 요구된다^{[3] [4]}.

특히 LiNbO₃기판을 이용한 광도파로 소자, 광다이오드, 광신호 통로로서의 단일모드 광섬유등을 포함하고 있는 광 집적회로(OEIC)의 패키징공정은 기판크기, 부착되는 광섬유의 수, 집적도 단계등의 제약으로 인하여 더욱 어려움이 많으나 이에 대한 연구들이 속속 보고되고 있으며^{[5] [6] [7]} 결국 패키징 기술개발은 광집적회로를 기술적으로나 상업적으로 성공시킬 수 있는 기반이 되리라 예상된다.

본 연구에서는 LiNbO₃ 기판을 이용하여 초고속 통신용 광변조기 칩을 제작한후 이 소자를 실장하고 외부소자들과 광파이버를 통하여 접속시킬수 있는 패키징 방식과 패키징 후의 전기적특성 및 광학적특성을 살펴보았다.

II. 패키징공정

Ti:LiNbO₃ 방법으로 제작된 폭 8 μ m, 길이 60,000 μ m인 Mach-Zehnder형태의 광도파로 위에 7 μ m 두께의 CPW 전극을 형성하여 10Gbps 급의 광변조기 칩을 제작 하였다. 제작된 광변조기 내부칩은 광파이버 및 RF 커넥터를 이용하여 외부와 연결되어야 하며 광변조기의 경우 단순한 wire 연결과 같은 방법으로는 원하는 소자의 성능을 기대할 수는 없다. 따라서 광파이버와의 저손실 pigtailling, 무유도성의 RF 전원 연결, 내환경성 및 이용의 편리성을 위한 패키징을 고려하여야 한다. 특히 광신호의 연결 자체가 수 μ m의 dimension 에서 이루어지기 때문에 정렬에 대한 중요성과 이에 따른 어려움은 매우 크다. 본 연구에서는 신뢰성있고 견고한 구조의 패키징을 위해 그림 1과 같은 공정을 실시하였다. 광변조기 패키징을 위한 전체 공정은 페룰안에 광파이버의 삽입 및 연마, 칩위에 보조블럭 부착, 1차보조글래스 부착 및 광도파로의 입출력면 연마, 광섬유 정렬, 칩과 광파이버간의 부착, 2차 보조글래스부착, 광파이버 지지용블록 부착 및 광파이버의 2차고정, 페룰고정, 진동 및 충격흡수용 패드 부착, 칩의 하우징 안에 내장, SMA 커넥터 및 칩저항의 부착, 패키지의 밀봉 및 광파이버의 3차고정순으로 이루어진다.

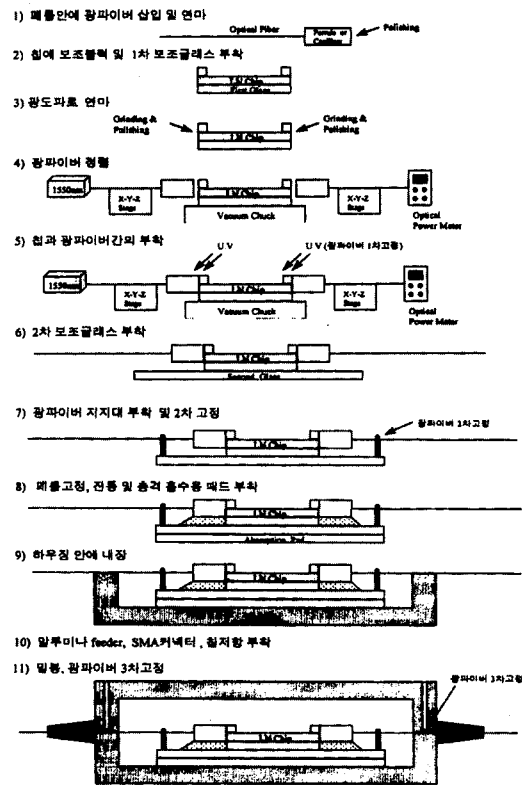


그림 1. 광변조기 패키징 공정도
Fig. 1. Flow chart of the optical modulator packaging process.

제작된 칩을 패키징 하기 위한 첫단계는 그림 1의 1)과 같이 광도파로와 부착할 광파이버를 페룰 안에 고정시킨후 측면을 연마한다. 이 과정이 끝나면 광도파로의 연마 단계인데 연마전에 광도파로가 형성되어 있는 칩의 상단 양쪽 가장자리와 하단에 그림 1의 2)와 같이 광파이버와의 결합강도 효율을 높이기 위한 보조블럭과 연마시 칩의보호 및 가장자리 부분이 부스러지는것을 방지하기 위한 1차보조글래스를 부착한다. 보조용 블록과 글래스가 칩의 상하면에 부착되면, 광의 입출력 신호를 원활히 하기 위하여 광도파로가 형성되어 있는 칩의 측면을 그라인딩 및 연마해준다.

광신호 전송효율은 광도파로 측면과 광섬유 단면의 평탄도에 크게 영향을 받으므로 이 평탄도를 좋게 하기 위해서는 광학적 연마과정을 필요로 한다. 사포 #800, #1200, #2000을 이용하여 그라인딩 한후에 그림 1의 3)과 같이 본격적인 연마 작업이 들어가게 되는데 먼저 연마 패드 위에서 6 μ m 다이아몬드 페이스트를 사용하여 연마해준다. 이 단계가 끝나면 아세톤과 증

류수를 이용하여 깨끗이 초음파 세척하여준다. 다음단계의 연마때 페이스트 입자가 더욱 곱기 때문에 스크래치가 생기지 않게 하기 위함이다. 초음파 세척이 끝나면 곧이어 3 μm 다이아몬드 페이스트와 여기에 적합한 연마패드를 이용하여 연마하고 이 단계가 끝나면 다시 새로운 아세톤과 증류수를 이용하여 초음파 세척하여준다. 계속 이어서 1 μm , 0.25 μm 순으로 같은 방법으로 다이아몬드 페이스트와 패드를 이용하여 시편을 연마한다. 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 피그테일링 작업을 하게된다. 반타원형의 광도파로에 원형의 광파이버를 접속시켜 계속적인 광파워를 유지시킬 수 있게 부착하는 것은 상당히 까다롭다. 광도파로와 광파이버간에 부착을 위한 결합에 있어 난제는 fiber-to-fiber 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.

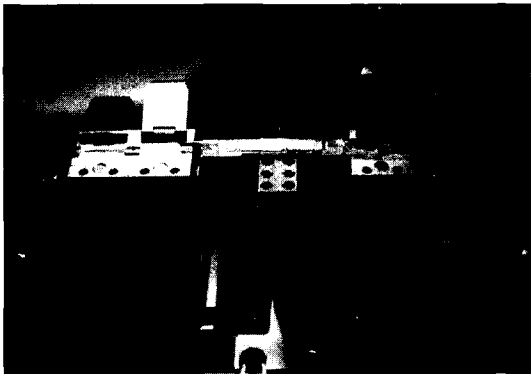


그림 2. 피그테일링 실험
Fig. 2. Pigtailed experimentation.

피그테일링 작업은 다음과 같다. 그림 1의 4)와 같이 보조블럭과 보조글래스가 부착되어 있는 칩을 vacuum chuck 위에 고정시켜놓고 광파이버를 얹혀놓은 x-y-z stage를 계속 상하좌우로 조정하면서 광파워 값을 읽어 나가면서 광파이버 정렬작업을 한다. 광파워값이 최대가 되었을 때 index matching 에폭시를 광도파로와 광파이버 사이에 주입시킨후 그림 1

의 5)와 같이 자외선을 조사하여 에폭시를 경화시켜 칩과 광파이버를 부착시킨다. 그림 2는 피그테일링 실험 사진도이다.

이 과정이 끝나면 그림 1의 6)과 같이 칩보다 길이가 긴 2차보조 글래스를 부착하고 그림 1의 7)과 같이 글래스 위에 광파이버지용블록을 부착시킨 후 온도, 습도, 진동으로부터의 영향을 줄이기 위하여 에폭시를 이용하여 광파이버를 2차 고정시킨다. 광파이버가 2차적으로 고정되면 그림 1의 8)과 같이 페룰이 움직이지 않게 고정시키고 외부로부터의 진동 및 충격을 완화시키기 위하여 진동 및 충격 흡수용 패드를 부착시킨다. 패드가 부착되면 그림 1의 9)와 같이 내부 칩을 하우징 안에 내장시키고 임피던스 매칭용 칩저항 부착, SMA 커넥터 부착, Au wire 본딩을 해준후 1의 11)과 같이 외부패키지를 밀봉하므로써 패키징 작업을 마치게된다. 그림 3은 전극의 RF인가부분과 RF 커넥터, 칩저항과 하우징간을 Au wire 본딩한 부분 사진도이고 그림 4는 상기와 같은 방법에 따라 패키징된 광변조기의 내부사진을 보였다.



그림 3. RF 커넥터와 칩저항의 부착
Fig. 3. Attachment of the RF connector and chip resistors.

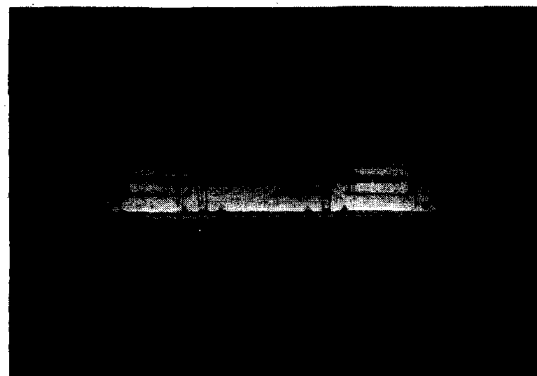


그림 4. 패키징된 광변조기 내부구조
Fig. 4. Inner-structures of the optical modulator packaged.

III. 결과 및 고찰

Ti:LiNbO₃ 광도파로와 CPW 전극 구조의 10Gbps 급 광변조기 내부 칩을 제작한후 패키징 작업을 한뒤에 소자의 전기적특성과 광학적특성을 측정하였다.

일반적으로 양산되어 판매되는 광변조기의 전기적특성을 비교해보면^[8] 잡음없이 전기광학변조를 성공적으로 얻기 위해서는, S-parameter의 반사특성인 S₁₁이 요구되는 변조대역 전범위에 대하여 -10 dB 이하를 유지하여야 한다. 또한 이점은 전달특성인 S₂₁의 -6 dB 감소점과 일치하고 있어서, 임의의 전극을 설계하고 제작하여 제반특성을 분석하고자 할 때 성능지수로서 효과적으로 활용할 수 있다. 전기적 특성은 회로 분석기(HP8510 Network Analyzer System)를 이용하여 상기와 같은 방법으로 패키징한 상태에서 S-parameter 특성인 S₁₁, S₂₁을 살펴보았다.

삽입손실 S₂₁은 구동원과 부하간에 전송선로(또는 4단자망)를 삽입했을 때 손실정도를 나타내며, E'R/ER로 정의된다. 여기에서 E'R은 전송선로를 삽입하지 않았을 때 부하저항에 걸리는 전압이고 ER은 전송선로 삽입때 부하저항에 걸리는 전압을 나타낸다.

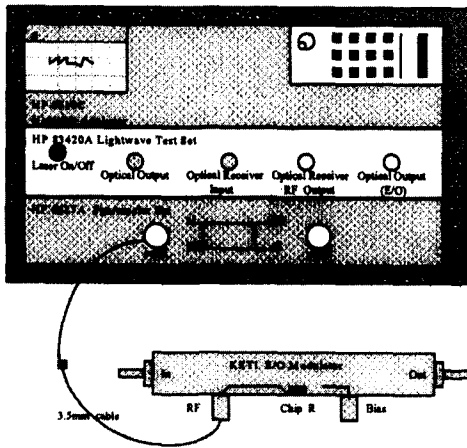


그림 5. S-prameter 특성측정도
Fig. 5. A schematic diagram of S-prameter measurement.

그림 5는 패키징된 광변조기 소자의 s-parameter 특성을 측정하기 위한 실험구성도이다. HP8510 Network analyzer port1에서 나온 RF신호는 변조기에 부착된 SMA커넥터의 RF단자로 입력된다. SMA커넥터의 코어는 그림 3과 같이 소자내의 CPW 구조의

전극 패드와 연결되어 있어 전극구조를 따라 전송 및 반사함으로써 특성을 측정하게 된다.

패키징에서 광변조기 소자의 S₂₁특성은 그림 6과 같이 -3dB점에서 10GHz, -6dB점에서 13.7GHz 의 값을 나타내었고 S₁₁특성은 그림 7과 같이 5GHz 영역에서 -22dB, 10 GHz 영역에서 -12 dB를 보였다.

광변조기소자를 패키징한후의 S₂₁특성을 나타낸 그림 6에서 세로축의 눈금은 한칸에 2dB이고 가로축의 눈금은 2GHz를 표시한다. Marker1은 기준점으로서 0dB이고 Marker3에서와 같이 -2.9dB점에서 8.97GHz를 나타내었고 Marker4에서와 같이 -6dB점에서는 13.7GHz를 나타내었다. 그림 7은 S₁₁특성을 나타내며 세로축의 눈금은 한칸에 5dB이고 가로축의 눈금은 한칸에 1.5GHz를 나타낸다. Marker3에서는 4.7GHz 영역에서 -24dB를 나타내었고 Marker4에서는 14.4GHz 대에서 -8.9dB를 보였다.

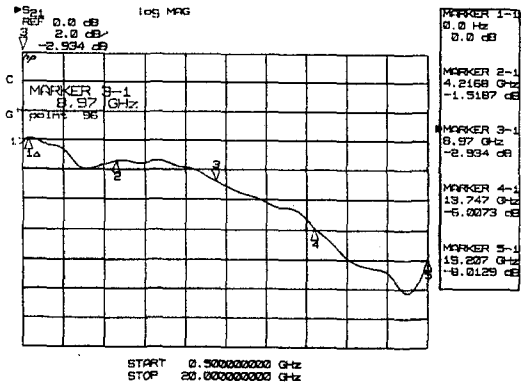


그림 6. S-parameter 특성 (S₂₁)
Fig. 6. Characteristics of S-parameter 특성 (S₂₁).

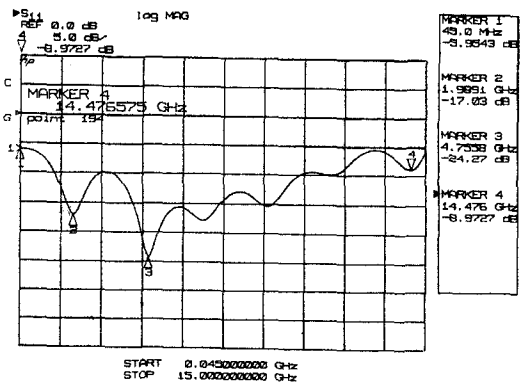


그림 7. S-parameter 특성 (S₁₁)
Fig. 7. Characteristics of S-parameter 특성 (S₁₁).

광학적 특성을 분석하기 위하여 제작된 광도파로의 모드분석, 패키징후의 광변조기 삽입손실 및 온도변화에 따른 광변조기의 광손실변화 특성을 측정하였다. 1050℃ 온도에서 8시간동안의 확산공정을 통하여 제작된 폭 8μm, 길이 60000μm인 Mach-Zehnder형태의 도파로가 형성된 내부칩의 모드패턴을 분석하기 위하여 입력단에 편광유지파이버를 부착한후 그림 8과 같은 실험방법을 구성하였다.

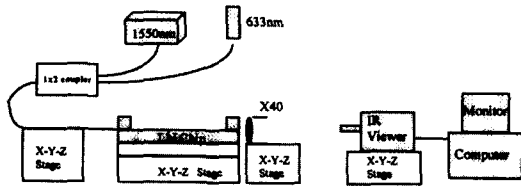


그림 8. 모드패턴 실험도
Fig. 8. Mode pattern experimentation.

광원인 tunable laser source(1550nm)와 He-Ne (633nm) 레이저가 2x1 커플러를 통하여 광도파로에 동시에 입사할 수 있게 하였고 출력 단에는 x40 렌즈, IR viewer, monitor등을 통하여 출력 광파를 관찰할 수 있게 하였다. 광학정렬을 정확하고 용이하게 하기 위하여 4개의 x-y-z stage를 사용하였으며 각각 PMF, LN chip, x40렌즈, IR viewer를 제어하였다. LN칩에 형성된 도파로를 따라 출력된 광은 X40렌즈를 통하여 집속시키게되며 집속된 빔은 IR viewer로 검출한후 모니터로 나타나게 된다.

그림 9는 1550nm 파장대에서 측정된 Ti:LiNbO₃ 광도파로의 근시야상으로서 단일모드임을 나타내고 있다. 광도파로의 전파손실은 측정한결과 0.5dB/cm 이하로 나타났다.

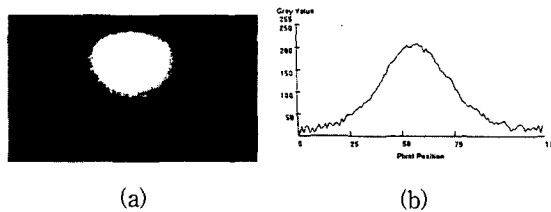
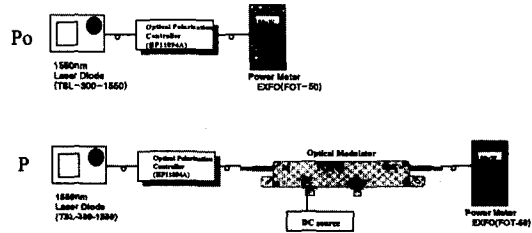


그림 9. 근시야상 (1550nm) (a)모드패턴 (b) 모드 프로파일
Fig. 9. The near field pattern(1550nm). (a) mode pattern (b) mode profile

그림 10은 패키징 작업후에 광변조기 소자의 삽입

손실을 측정하기위한 측정도이다.

측정을위해서 1550nm의 LD 광원, Optical polarization controller, power meter 등을 사용하였으며 측정결과 패키징된 광변조기 소자의 전체 삽입손실은 4.3dB 로 나타났다.



$$LOSS(dB) = P_0(dB) - P(dB)$$

그림 10. 삽입손실 측정도
Fig. 10. A schematic diagram of insertion loss measurement.

패키징후 온도변화에 따른 광학적 특성을 알아보기 위하여 그림 11과 같이 패키징된 광변조기 소자를 온도가변 챔버(Heraeus VMH 07/500/S)에 넣은후 5~45℃까지 온도변화를 주면서 광손실 특성을 살펴 보았다. 사용광원으로는 1550 nm 파장의 LD 를 사용하였고 출력 측에는 광파워미터를 연결하여 광손실을 측정하였다.

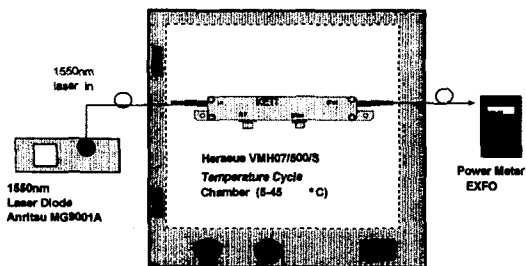


그림 11. 온도변화실험 개략도
Fig. 11. A schematic diagram of temperature variation test.

온도변화는 실온(23℃)상태에서 시작하여 25℃로 올린후 10분간 손실 측정, 다시 25℃에서 30℃로 올린후 10분간 손실 측정하고, 45℃ 까지 각각 5℃ 간격으로 올리면서 각 온도마다 10분씩 손실측정을 하여 평균값을 산정하였다. 45℃ 까지 올라간 후에는 다시 역으로 각각 5℃ 간격으로 5℃ 까지 내려가면서 같은 방법으로 각 온도마다 10분씩 손실측정을 하였다. 5℃

까지 내려간 후에는 다시 10°C, 15°C, 20°C, 23°C 실온 상태로 온도를 조정하여 온도 삽입손실 특성 변화를 측정하였다.

그림 12에 온도변화에 따른 광손실 특성을 나타내었다. 실온(23°C) 삽입손실 4.3 dB 로부터 시작하여 5°C~10°C 사이에는 6.4~5.2dB, 15°C~30°C 변화사이에 5.3~4.6 dB, 35°C~45°C 사이에는 5.3~6.4 dB의 삽입손실이 나타남을 측정하였다.

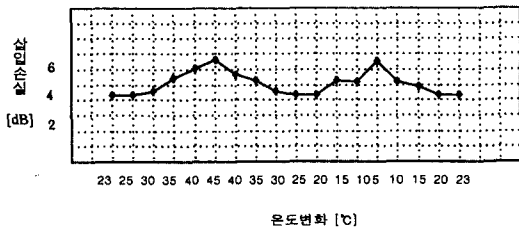


그림 12. 온도변화에 따른 광손실변화
Fig. 12. Optical loss variation during temperature cycling.

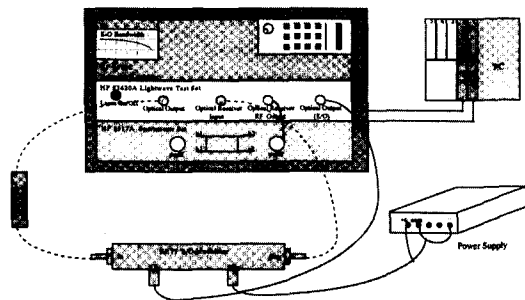


그림 13. 전기광학특성측정도
Fig. 13. A schematic diagram of E-O bandwidth measurement.

전기적특성, 광학적특성을 분석한후 전기광학특성인 Electrical-Optical bandwidth 측정을 하기위하여 그림 13과 같이 회로 분석기(HP8510 Network Analyzer System), polarization controller, power supply를 이용하였다. 회로분석기는 Lightwave test set(HP 83420)와 함께 연결되어 있으며 PC를 이용하여 제어하도록 하였다. Lightwave test set에 부착된 1.550nm 레이저광원이 optical output단자를 통하여 편광조절기와 광변조기를 거쳐 변조된 신호가 test set내의 optical receiver input을 통하여 들어오게 된다. HP83420A의 test set E/O는 변조기의 RF 단자와 연결되어 RF신호를 공급하며 power supply

는 bias 단자와 연결하여 동작점을 안정시키기위한 전원을 공급하여준다. 측정결과를 그림 14에 나타내었다. 세로축은 한칸에 3dB 크기고 가로축은 한칸에 2GHz 이다. 그림에서와 같이 -3dB optical response는 7.8GHz를 나타내었고 -6dB optical response는 13GHz를 나타내었다.

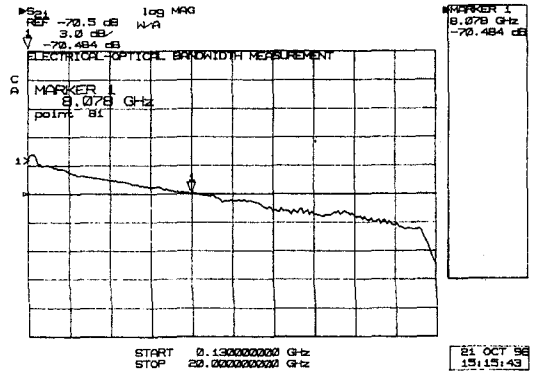


그림 14. 전기광학특성측정
Fig. 14. Electrical -Optical bandwidth measurement.

IV. 결론

Ti:LiNbO₃ 광변조기 칩을 제작한후 일련 공정에따라 패키징공정을 수행하였으며 패키징후 소자의 전기적특성 및 광학적특성을 고찰하였다. 전기적 특성에서 S₂₁ 특성은 -3 dB 점에서 9.8 GHz, -6 dB 점에서 13.7 GHz 값을 나타내었고 S₁₁ 특성은 5 GHz 영역에서 -22 dB, 14.4GHz 영역에서 -8.9dB 값을 나타내었다. 광학적 특성은 Ti:LiNbO₃ 방식으로 제작된 광도파로가 1550nm 파장대에서 단일모드이고 전파손실은 0.5dB/cm이하로 나타났으며 패키징후 광변조기 소자의 삽입손실은 4.3dB 로 나타났다. 광변조기소자를 온도감압챔버에 넣은후 5~45 °C 까지 온도변화를 주었을 때 4.3~6.4 dB 삽입손실변화를 보였으며 온도변화실험 후에 삽입손실을 재측정하였을 때 4.3 dB 본래 값을 유지하였다. 이러한 현상은 굴절을 매칭 기능을 가진 UV 에폭시 특성자체가 40°C 이상의 온도에서 민감한 변형을 보이는 것에 기인한다. 본 연구에 의한 패키징 방법이 광변조기 양산에 응용 가능하며 더욱 신뢰성을 높이기 위해서는 온도 영향을 적게 받는 에폭시 선정 및 레이저 welding을 이용한 방법을 강구하여야 할 것이다. E-O bandwidth 측정에서

-3dB optical response는 7.8GHz를 나타내어 본 연구에 의해 패키징된 광변조기는 10Gbps급 광통신 시스템에 응용할수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Michael R. Matthews, Brain 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.
- [2] 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.
- [3] Bernd Valk, Rainer Battig, Olivier Anthamatten, "Laser Welding for Fiber Pigtailing with Long-term Stability and Submicron Accuracy", Optical Engineering, vol. 34, no. 9, pp. 2675-2682, 1995.
- [4] 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.
- [5] R. A. Becker, B. E. Kincaid, "Rugged, Low-Cost Pigtailing Approach for LiNbO₃ Integrated Optic Devices", IEEE Journal of Lighewave Technology, vol. 12, no. 1, pp. 44-48, 1994.
- [6] Richard A. Soref, "Silicon-Based Optoelectronics", Proceeding of The IEEE, vol. 81, no. 12, Dec. 1993.
- [7] Paola Cinato, Kenneth C. Young, "Optical Interconnections within Multichip", Optical Engineering, vol. 32, no. 4, pp. 852-860, 1993.
- [8] 윤대원 외, "수동광부품개발", KETI-RD-96091, 1996

저 자 소 개

尹 炯 導(正會員)

1966년 5월 7일생. 1993년 2월 명지대학교 전자공학과 석사학위취득. 1997년 3월 성균관대학교 전자공학과 박사과정 입학. 1993년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 전임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics, Passive Optical Device



李 韓 諤(正會員)

1962년 5월 18일생. 1991년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업. 1993년 1월 맨체스터공대 전자재료 석사학위 취득. 1996년 10월 맨체스터공대 전자재료 박사학위 취득. 1997년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품1팀 선임연구원. 주관심분야는 MSW 및 Passive Optical Device

金 成 求(正會員)

1966년 1월 10일생. 1996년 2월 전남대학교 전기공학과 박사학위취득. 1994년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 선임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Optical Device

尹 大 源(正會員)

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