

광송수신 모듈 구현을 위한 전기 접속부에 관한 연구

An Effect of Electrical Interconnect in Optical Transceiver Module

조인귀 · 한상필 · 윤근병 · 정명영

In-Kui Cho · Sang-Pil Han · Keun-Byoung Yoon · Myung-Yung Jeong

요 약

디지털시스템이 더 빠른 edge rate와 클럭 속도를 갖는 소자를 사용함으로 디지털 정보를 전송하는 시스템은 이제 초고주파 영역으로 진입하였으며, 더 많은 전송량을 얻기 위해 광경로를 활용하는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 시스템 설계의 가장 중요한 변수가 되고 있는 디지털 신호의 무결성(Signal Integrity)을 확보하기 위한 병렬 광송수신 모듈에 전기 접속부의 중요성에 관한 시뮬레이션 및 실험적 분석을 수행하였다. 칩 구동을 위한 Access Line 및 Evaluation Board를 다른 두 경우로 모듈을 제작하였으며, S_{11} 이 -10 dB 이상인 마이크로 스트립의 경우, 2.5 Gb/s 광 신호의 왜곡이 많이 형성됨을 확인할 수 있었으며, 반면 S_{11} 이 -15 dB 이하의 특성을 갖는 스트립라인에서는 완전한 Eye Opening신호를 확인할 수 있었다.

Abstract

The digital transmission system entered in a RF region as digital system use IC chips of the speeder edge rate and clock speed nowadays. Optical path really was used in order to obtain the more capacity. In this paper, we described importance of electrical interconnect to get the signal integrity in optical module by simulation and experiment. 12 channel \times 2.5 Gbps optical parallel transmitter modules were manufactured by two different method ; access lines with microstrip and stripline type. We have clearly shown that the optical module adopting microstrip type with $S_{11} \geq -10$ dB presents distortion but the optical module adopting stripline type with $S_{11} \leq -15$ dB obtains eye opening in 2.5 Gbps optical eye pattern response.

Key words : Access Line, Electro-Optical Module, Microstrip, Stripline

I. 서 론

인터넷 및 컴퓨터 네트워킹의 급증하는 수요는 높은 데이터 전송량을 갖는 데이터 통신 기반을 요구하고 있으며, 이러한 요구조건을 만족하기 위하여 수년간 전송속도는 급속히 증가하였다. 이러한 관점에서, 보드(Board)간 및 백플레인(Backplane)간 금속 케이블에 의한 전기적인 접속을 광섬유 케이블로 대체한 광접속 기술은 전기적인 접속 기술에서 나타나고 있는 고속화에 의한 EMI, 간섭, 노이즈 등에 의한 전기접속의 한계를 극복할 수 있는 가장 유력

한 방법 중에 하나로 대두되고 있다. 특히, 병렬 광 접속 기술은 높은 처리용량, 손쉬운 시스템 집적화 등의 장점을 가지고 있기 때문에 현실적으로 가장 좋은 방안으로 기대되고 있으며, 이에 발 맞추어, 대용량, 고밀도, 고속 및 저가격의 병렬 광접속 모듈에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다^{[1][2]}.

광배선 모듈 구현을 위한 구성요소는 전기신호를 광신호로 변환하는 표면방출레이저(VCSEL) Array 와 이를 구동하는 구동회로(Driver)가 필수적으로 요구되며, 이러한 구성요소를 패키징 하는 것은 전체 광배선 모듈의 전송성능에 영향을 줄 수 있음으

한국전자통신연구원 반도체 원천기술연구소 광통신소자 연구부(Basic Research Lab., ETRI)

· 논문 번호 : 20030329-050

· 수정완료일자 : 2003년 6월 11일

로 매우 주의를 요한다. 한 예로 병렬 광전송 시스템에서는 전기신호가 광신호로 변환된 이후 광 경로에서는 거의 상호 채널간에 간섭이 발생하지 않으며, 채널 내에서는 임피던스 정합문제가 발생하지 않는다. 그러나 전기신호가 광신호로 변환되기 전, 전기회로 상의 임피던스 부정합 문제나 채널간 간섭은 패키징 구조에 따라 충분히 발생할 수 있으며, 이러한 임피던스 부정합 및 간섭은 전체 광모듈의 BER 특성 열화를 가져올 수 있다^{[3]~[5]}.

본 논문에서는 2.5 Gb/s급 광모듈 구현을 위한 전기회로에서 요구되는 전기적, 물리적 설계요소 및 방법 등을 고찰하고, 이러한 전기 접속부의 중요성 및 그 RF적인 관점에서의 설계기준을 제시하고자 광모듈을 제작하여 측정, 분석하였다.

II. 광송수신 모듈의 이해

그림 1은 채널당 수 Gb/s급 전송을 위해 광도파로 및 광섬유를 전송매체로 이용하는 병렬 광송수신 모듈의 개략도를 보여 주고 있다. 채널 당 수 Gb/s의 송수신을 하기 위해, 일반적으로 낮은 Data Rate를 갖는 음성, 문자 및 비디오 신호가 MUX에 의해 다중화되어 송신용 칩(Driver Chip)으로 전달되어지며, 송신칩은 전기적 신호를 광신호로 변환을 담당하는 VCSEL Array를 구동케 한다. 전기적 신호가 광으로 변환된 후에는 광도파로 및 광섬유를 통해 광전송이 이루어지게 된다. 일정 거리를 경유하여 PD Array에 도달한 광신호는 송신부에서와 반대로의 광전변환이 일어나고, Post-Amp.에서 신호의 보정이 이루어지며 역다중화 되어 신호처리 칩으로 전달되는 메커니즘을 갖게 된다^[6].

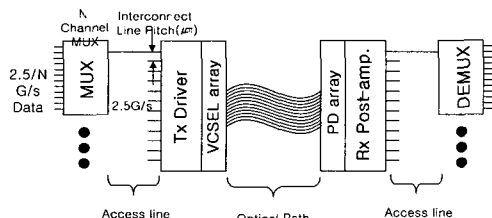


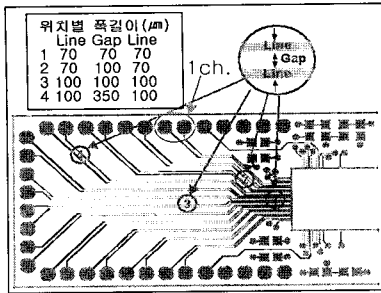
그림 1. 병렬 광송수신 모듈의 개략도
Fig. 1. A typical schematic architecture of 12 channel optical module.

광전송을 위한 광모듈에 이용되는 칩은 크게 신호를 다중화 하는 MUX 칩 혹은 주변 부가회로 칩과 전광변환을 담당하는 Driver 칩과 VCSEL Array 칩으로 구분된다. VCSEL Array 칩과 Driver 칩은 매우 작은 치수를 갖는 반면, 전기적인 부가회로 칩이나 MUX 칩은 상당한 크기의 치수를 갖게 되어 이들간에는 항상 칩간 치수의 불일치 현상이 발생하게 된다. 현실적으로, 이러한 치수의 불일치를 극복하기 위해 반드시 일정 이상 길이를 갖는 Access Line이 요구된다. 이러한 Access Line의 길이는 수십 mm 수준이 될 것이며, 채널 당 낮은 Data Rate인 경우에는 설계/제작에 있어 별 문제가 발생되지 않지만 수 Gb/s 및 수십 Gb/s의 채널속도에서는 문제가 발생될 수 있다^{[7],[8]}.

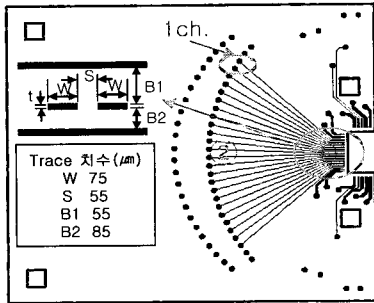
VCSEL Array 칩의 채널간 피치는 250 μm 이며, Driver 칩은 125 μm 의 라인 피치를 갖고 있다. 이러한 물리적인 채널간 좁은 피치는 상용 PCB 공정에서 Access Line의 최종 목표인 임피던스 정합을 갖는 선로(Trace)를 형성하는데 어려움이 되고 있다. Access Line 설계에 있어 최종 목표는 신호 무결성을 갖는 신호전송이며, 이러한 신호 무결성 신호전송은 다양한 접근방식을 선택할 수 있다. 일반적으로 고속신호의 전송에는 필연적으로 고주파 특성에 의해 기생성분이 발생하게 되어 전송선 이론을 도입한 RF적인 접근법을 채택하게 된다. 고속 전기신호를 광신호로 변환/전송하는 병렬 광송수신 모듈의 전기 Access Line 또한 이러한 고속신호 관점에서 설계 제작될 필요가 있다. 따라서 광송수신 모듈 구현을 위한 전기 접속부 설계 및 제작을 RF적인 관점에서 설계 기준을 마련하는 일은 향후 광소자를 이용한 디지털 전송에 설계 지침을 제공할 것이다.

III. 광송수신 모듈 구현을 위한 전기 접속부 설계 및 제작

전기 접속부에 대한 정확한 특성 분석을 위해 전기 접속부를 제외한 모든 광모듈 조건이 동일하게 설계 제작되는 것이 필요하며, 이용되는 칩 또한 동일한 조건을 갖는 것이 중요하다. 따라서 Driver 칩의 경우는 HELIX사의 12 channel Tx Driver인



(a) 마이크로스트립라인 구조의 Access Line
(a) Access line with microstrip trace type



(b) 스트립라인 구조의 Access Line
(b) Access line with stripline trace type

그림 2. 광송신모듈 구현을 위한 전기 접속부 설계
Fig. 2. The design of electrical interconnection parts for optical TRx module.

HXT2312를 선정하였으며, VCSEL Array는 Honeywell사의 Oxide 12 channel VCSEL인 HFE8012-101E를 선정하였다. 전기 접속부인 Access Line은 두 가지 다른 형식으로 설계 제작하였으며, Driver 칩 및 VCSEL 칩 Pad의 접속은 동일하게 직경 1 mil Gold Wire를 이용한 Edge Bonding을 하였다. Access Line은 칩 패드간 좁은 피치를 고려하여 마이크로스트립라인과 스트립라인 두 형식을 선택하였으며, 그림 2는 설계 결과이다.

마이크로스트립라인은 유전율이 4.5인 FR4, 스트립라인은 유전율이 3.2인 Micro-Ram을 기준 소재로 선택하였으며, ADS Momentum Tool을 이용하여 최종 설계하였다. 일반적으로 선폭 W 인 마이크로스트립라인으로 50 Ohm의 선로를 형성하기 위해서는 그 선폭의 절반정도에 가까운 유전체 두께를 요구하므로 유전물질의 두께를 고려한 선폭을 결정하는 것이 매우 중요하다. 선로간 간격이 상대적으로

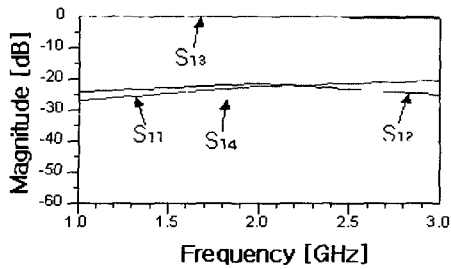
표 1. 최종 설계된 Access Line 치수

Table 1. The dimension of access line designed.

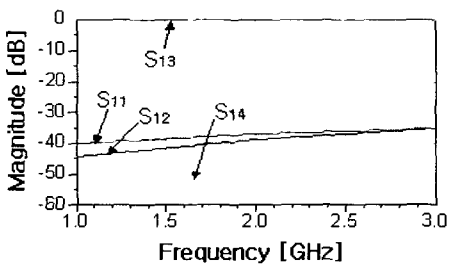
마이크로스트립라인				
	영역 ①	영역 ②	영역 ③	영역 ④
선폭(W)	70 μm	70 μm	100 μm	100 μm
Gap(S)	70 μm	100 μm	100 μm	350 μm
유전체	$\epsilon_r=4.5$, 높이(h)=46 μm, 금속두께(t)=40 μm			
길이(mm)	25 mm(@ 4 channel)			
스트립라인				
	영역 ①	영역 ②		
선폭(W)	75 μm	75 μm		
Gap(S)	55 μm	925 μm		
유전체	$\epsilon_r=3.2$, B1=55 μm, B2=85 μm, 금속두께(t)=40 μm			
길이(mm)	15 mm(@ 4 channel)			

좁은 높은 채널밀도를 갖는 경우 더욱 이러한 문제를 고려하여야 한다. 한 예로, 선로배선을 위해 선폭을 70 μm로 결정하였다면, 유전물질의 두께가 35 μm가 되어 일반 PCB공정에서 불가능한 층간 두께가 될 수도 있으며, 층간 단락의 위험성도 갖게 된다. 따라서 본 마이크로스트립 설계에서는 임피던스를 결정하는 주요 선로(그림 2의 ③영역)의 선폭을 100 μm로 설정하였으며, 전체 Access Line은 배선밀도가 높은 Driver 칩 부분은 선폭 70 μm인 Taped된 구조로 설계를 수행하여 유전체 두께를 46 μm로 최적설계를 하였다. 반면 스트립라인은 선폭 W 인 경우, 전체 유전체 B1+B2의 두께가 3 W 수준에서 임피던스 값 50 Ohm을 형성하게 된다. 따라서 본 설계에서는 스트립라인의 Access Line을 선폭 75 μm, 유전체 두께 B1 85 μm, B2 55 μm로 최적설계하였다. 표 1은 설계된 마이크로스트립라인과 스트립라인의 최종 치수이다.

그림 3은 그림 2에서 최종 설계된 Access Line 중 4번 채널의 S-parameter이다. 4번 채널은 그림 2에서 표기된 1번 채널로부터 시계반대 방향으로 4번째 되는 채널이며, 그 치수는 표 1의 최종설계 치수이다. 마이크로스트립라인의 경우 선폭의 변동이 발생하는 Taped 구조에서 임피던스 부정합이 발생하여 반사손실 S_{11} 값이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 인접 채널에 대한 간섭 또한 증가하는 것을

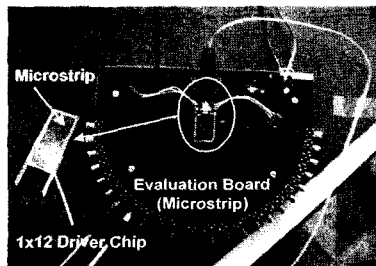


(a) 마이크로스트립라인 구조의 S-parameter
(a) S-parameter of the microstrip type

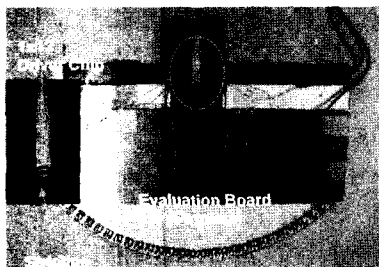


(b) 스트립라인 구조의 S-parameter
(b) S-parameter of the stripline type

그림 3. Access Line의 S-parameter
Fig. 3. Designed S-parameters of access line.



(a) 마이크로스트립라인 구조
(a) The microstrip line type



(b) 스트립라인 구조
(b) The stripline type

그림 4. 제작된 전기 접속부
Fig. 4. Manufactured electrical interconnection parts.

보여주고 있다. S_{12} 는 가까운 포트에 대한 간섭, S_{14} 는 먼 포트에 대한 간섭이다.

광모듈용 전기 접속부의 PCB 제작은 마이크로스트립라인 경우 기본 4층으로 형성하였으며, 스트립라인 경우 8층으로 구성하였다. 그림 4는 제작된 전기 접속부이다.

외부의 신호발생기로부터 디지털 신호를 입력하기 위한 Evaluation Board를 포함한 광송신 모듈을 구성하였으며, 사용한 Driver 칩이 차동으로 동작할 수 있으므로 외부로 연결되는 포트는 모두 24개 이상의 SMA 커넥터로 구성하였다. 모듈을 마이크로스트립라인으로 구성한 경우에는 Evaluation Board도 마이크로스트립라인으로 구성을 하였으며, 반면 스트립라인으로 구성된 모듈의 Evaluation Board는 스트립라인으로 구성하였다.

IV. 모듈의 전기적 특성과 Eye Pattern

디지털 정보를 전송할 때 전송 비트의 오율(Error Rate)을 최소화하는 것을 의미하는 전송시스템 모듈의 신호 무결성(Signal Integrity)을 보장하는 것은 동작 주파수가 높아짐에 따라 매우 중요한 문제로 부각되고 있다. 신호 무결성을 보장하기 위해서는 모든 중요 신호들에 대해 간섭, 반사 등의 특성을 체크해야 한다. 이러한 간섭, 반사 특성은 많은 부분 전송선의 임피던스에 의해 결정되는 요소이다. 또한 임피던스에 따라 직접적으로 영향을 받는 시스템 성능 변수들은 지연시간(Delays), 잡음 허용치(Noise Tolerance), 스위칭 잡음(Switching), 고유 정전 용량(Intrinsic Capacitance), 간섭(Crosstalk), 반사(Return) 등이 있다. 채널당 2.5 Gb/s 고속 신호의 전송을 위한 광송수신 모듈은 동작주파수가 GHz 범위의 고주파이므로 신호선로를 전송선로로 해석, 설계하는 것이 바람직하다. 그림 5는 그림 4에서 제작된 각 광송신 모듈, Evaluation Board 및 50 Ohm 특성을 갖는 Coaxial Cable의 전기적 특성을 TDR로 측정된 결과이다.

TDR은 물리적인 전기 접속부의 전기적인 특성을 분석하기 위해 사용할 수 있는 좋은 방법이며, 임피던스에 의해 정의되는 주어진 신호 경로상에서 반사 특성을 측정하는 것이다. 측정은 임피던스 값이

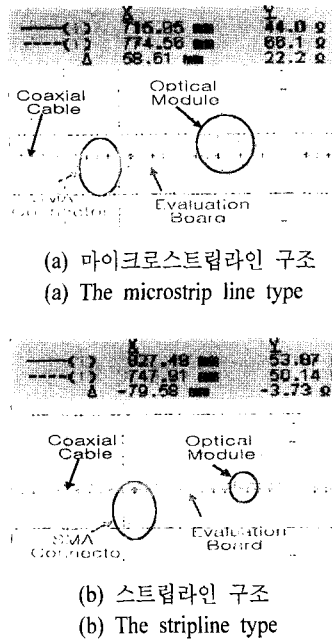


그림 5. 광모듈의 TDR 측정
Fig. 5. The TDR measurement of optical module.

며, 신호의 진행순으로 그 경로에서의 반사 특성으로 결정되는 임피던스가 도시되어 있다. 초기 신호는 Coaxial Cable을 통해 이동하여 광모듈 입력 포트인 Evaluation Board의 SMA Connector를 경유하게 되며, Evaluation Board를 지나 Optical Module로 전송되게 된다. 최종 신호는 Optical Module 내의 칩 패키징을 위한 Wire Bonding을 지나 Driver 칩에서 높은 반사 특성을 갖게 된다.

그림 (a)에 마이크로스트립라인 구조의 광송신 모듈에서는 Evaluation Board에서 임피던스가 44 Ω, Optical Module에서 66 Ω 정도가 형성되었다. 반면 그림 (b)에 스트립라인 구조의 광송신 모듈에서는 Evaluation Board에서 임피던스가 50 Ω, Optical Module 모듈에서 54 Ω 정도가 형성되었다. 이러한 결과는 좁은 선폭과 높은 채널밀도를 갖는 구조의 마이크로스트립라인 구조가 스트립라인에 비해 더 높은 공정오차를 유발할 수 있기 때문인데, 한 예로 동일한 유전체 두께의 변화에 대해 스트립라인에 비해 마이크로스트립라인이 더 큰 임피던스 변화를 유발하기 때문이다. 이러한 임피던스 부정합은 고속 신호의 전송에 반사, 간섭 등과 같은 현상을 유발하게 되며, 고속 디지털 신호의 신호 무결성에 영향을

주게 될 것이다.

Eye Pattern 측정은 디지털 신호의 전송특성 및 접속특성을 평가하는 좋은 방법 중의 하나이다. Eye Pattern은 Time Jitter, Deterministic Jitter, Amplitude Deviation 등의 신호 특성을 포함하고 있다. 그림 6은 그림 4에서 제작된 마이크로스트립라인과 스트립라인 형태의 두 모듈에 대한 Eye Pattern이다.

입력신호는 Rise, Fall Time이 모두 50 ps인 NRZ (Non Return-Zero) 형태의 PRBS(Pseudo Random Bit Streams)가 $2^{23} - 1$ 인 데이터로 1.25 Gb/s와 2.5 Gb/s의 전기신호이며, 신호입력 포트는 4번 채널이다. 측정은 VCSEL Array의 개구부로부터 방사되는 광신호를 직경이 62.5 μm인 다중모드 광섬유를 이용하여 Wide-band Oscilloscope의 광 포트에 연결하여 수행되었다.

1.25 Gb/s의 신호에 대한 두 모듈의 광신호 특성은 큰 왜곡이 발생하지 않았다. 그러나 Access Line 및 Evaluation Board의 특성 임피던스가 50 Ohm에 더 가까운 스트립라인 구조가 좀더 Eye Opening이 명확하였으며, 신호의 크기 또한 더 크게 형성되었다. 이는 마이크로스트립라인에서의 전송손실이 FR 4로 인하여 유전체 손실이 크게 형성된 것으로 판단된다. 이러한 현상은 2.5 Gb/s 신호에서 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 2.5 Gb/s 신호에서 마이크로스트립라인의 경우는 송신모듈로 활용할 수 없을 정도로 신호의 왜곡이 크게 발생하였다. 상기 실험은 광송수신 모듈의 제작에 있어 전기 접속부의 의미와 그 중요성을 충분히 설명할 수 있으며, 고속

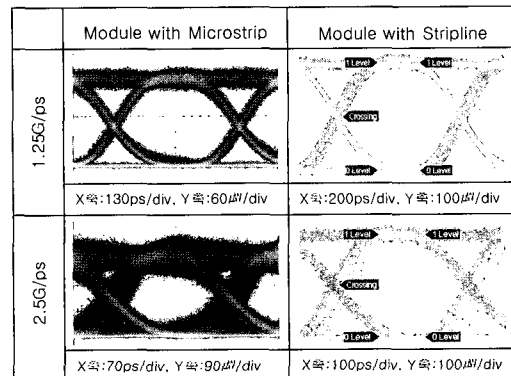
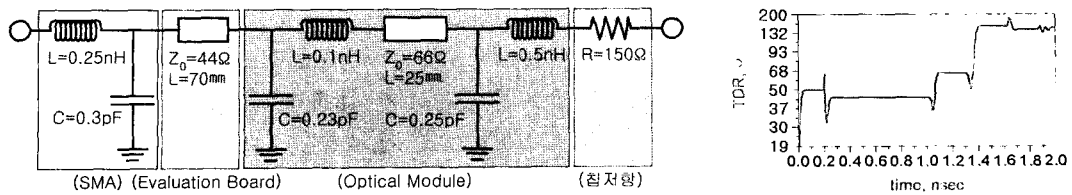
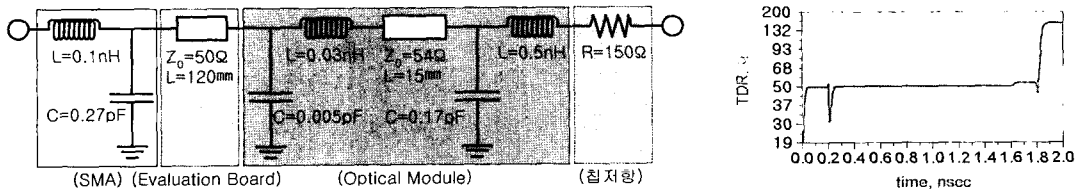


그림 6. 광모듈의 Eye Pattern 측정
Fig. 6. The eye pattern of optical module.



(a) 마이크로스트립라인 구조의 RLC 모델 및 TDR 해석
 (a) The RLC model and the TDR simulation of microstrip line type



(b) 스트립라인 구조의 RLC 모델 및 TDR 해석
 (b) The RLC model and the TDR simulation of stripline type

그림 7. 광모듈의 RLC 모델

Fig. 7. The RLC model of optical module.

디지털 신호의 전송에 활용되는 광송수신 모듈에 신호 무결성을 위한 전기 접속부의 엄격한 RF적 설계가 요구됨을 의미한다.

우리의 관심은 이러한 광모듈 구현에 있어 어떤 설계 규격으로 전기 접속부를 설계하는 것이 최종 고속 광송수신 모듈의 신호 무결성 문제를 해결하는가 하는 것이다.

따라서 그림 7은 그림 5에서 측정된 TDR 값을 가지고 RLC 등가모델을 생성한 것이며, 그 등가모델에 의한 TDR 시뮬레이션이다. 이러한 RLC 모델은 ADS Momentum Tool에 의해 추출되었으며, 그림 5에 실제 측정된 TDR 값과 비교할 때 그 모델이 정확함을 확인할 수 있다.

그림 8은 그림 7에서 추출된 RLC 파라미터를 활용한 주파수 영역의 S-Parameter 추출 결과이다.

그림 8에서 가로축의 주파수는 2.5 Gb/s 디지털 신호의 3 dB 대역폭을 고려하여 3 GHz로 결정되었으며, 추출된 S-Parameter는 광소자와 측정을 위한 Evaluation Board를 포함한 광모듈 전체의 RF적인 특성을 보여주는 것이다.

2.5 Gb/s 신호의 경우 3 dB 대역폭인 2.9 GHz 내에서 Return Loss를 의미하는 S_{11} 이 -10 dB보다 큰 마이크로스트립라인 경우에는 Eye Pattern에 많은 왜곡이 있었으며, 반대로 -15 dB 이하의 값을 갖는

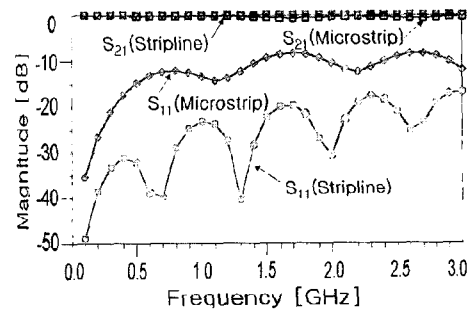


그림 8. Evaluation Board를 포함한 광모듈의 S-Parameter

Fig. 8. The S-parameters of optical module including evaluation board.

스트립라인 구조의 광모듈은 거의 왜곡이 없다. III 절에서 전기 접속부의 중요성을 평가하기 위해 스트립라인 구조와 마이크로스트립라인 구조에 대해 모두 동일한 칩을 이용하여 패키징 하였으므로 상기 특성은 완전히 Access Line과 Evaluation Board를 포함하는 전기 접속부 특성이며, 따라서 이러한 결과는 광모듈 구성에 있어 전기 접속부의 대략적인 Access Line 및 패키징 설계 기준이 될 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 병렬 광모듈 구현에 있어, 요구되는

전기적, 물리적 설계요소 및 방법 등을 고찰하였으며, 두 가지 Type의 다른 전송라인으로 형성된 시제품을 제작하여 전기 접속부의 RF적인 특성이 전체 광모듈의 광전송 특성에 어떠한 영향을 주는지에 관하여 실험적으로 살펴보았다.

광모듈 구성에 필수적인 전기 접속부의 특성을 확인하기 위해, Access Line 구성을 마이크로스트립 라인과 스트립라인으로 구분하여 설계 제작하였으며, 제작된 모듈 및 Evaluation Board는 TDR 장비를 이용한 임피던스 측정이 이루어졌으며, Oscilloscope를 이용하여 광 신호의 Eye Pattern이 측정되어졌다. 전기적인 임피던스 특성을 보여주는 S_{11} 이 -10 dB 이상인 마이크로스트립라인의 경우, 2.5 Gb/s 광 신호의 왜곡이 많이 형성됨을 확인할 수 있었으며, 반대로 S_{11} 이 -15 dB 이하의 특성을 갖는 스트립라인에서는 완전한 Eye Opening신호를 볼 수 있었다.

이러한 결과는 현재 광대역 고속 전송 및 접속기술에 가장 많이 이용되는 병렬 광모듈 구성에 있어 전기 접속부의 중요성과 대략적인 Access Line 및 패키징에 설계 기준을 제시한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] E. Griese, "A High-Performance Hybrid Electrical-Optical Interconnection Technology for High-Speed Electronic Systems", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 24, no. 3, 2001.
 [2] T. Nagahori, K. Miyoshi, Y. Aizawa and Y. Kusachi, "A Si Bipolar Laser Diode Driver/

Receiver Chip Set for 4-Channel 5 Gb/s Parallel Optical Interconnection", *ISSCC 2001/SESSION 14/GIGABIT Optical Communications II/14.3*.
 [3] A. V. Krishnamoorthy, K. W. Goossen, "Optoelectronic-VLSI : Photonics Integrated with VLSI Circuits", *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, vol. 4, no. 6, pp. 890-912, 1998.
 [4] Y. Wen, "The Package Bandwidth Limitation of High Speed Broadband Products", *Electronic Components and Technology Conference*, 2001.
 [5] T. Hayashi, M. Usui, M. Hosoya, K. Sato and S. Sekine, "Reducing Electrical Crosstalk in Laser-Diode Array Modules by Using a Film-carrier Interconnection", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, no. 9, pp. 1885-1891, 1995.
 [6] B. F. Levine, J. D. Wynn, D. Vakhshoori and K. Monteleone, "15 Gb/s multichannel optical interconnect laser array transmitter operating at $\lambda=1.3 \mu\text{m}$ ", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 1679-1685, 1995.
 [7] M. Govindarajan, S. Siala and R. N. Nottenburg, "Optical Receiver Systems for High Speed Parallel Digital Data Links", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 1555-1565, 1995.
 [8] L. J. Norton, F. Carney, N. Choi and Y. Wen, "OPTOBUSTM I : a Production Parallel Fiber Optical Interconnect", *Electronic Components and Technology Conference*, 47th, pp. 204-209, 1997.

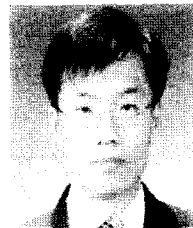
조 인 귀



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1999년 5월~현재: 한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 광통신소자연구부 선임연구원

[주 관심분야] RF 수동소자, 광 인터커넥션, Passive IMD

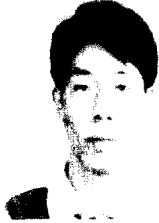
한 상 필



1998년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)
 1998년 5월~2000년 4월: KT 가업자망 연구소
 2000년 9월~현재: 한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 광통신소자연구부 선임연구원

[주 관심분야] 광도파로 소자, 광 인터커넥션, 광 송수신 모듈, 광결정 광소자

윤 근 병



1997년 2월: 경북대학교 고분자공학과 (공학박사)

1997년 3월~2001년 11월: 삼성 종합기술연구원

2001년 12월~현재: 한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 광통신소자연구부 선임연구원

[주 관심분야] 광소재, 광도파로 소자, 광 송수신 모듈

정 명 영



1984년 2월: 부산대학교 기계공학과 (공학석사)

2000년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)

1983년 9월~현재: 한국전자통신연구원 반도체원천연구소 광통신소자연구부 책임연구원, 광접속

모듈팀 팀장

[주 관심분야] 광 인터커넥션, 광 송수신 모듈, 광 PCB, 광결정 광소자