

40-Gbps 급 광수신기를 위한 WGPD 서브모듈의 모델링

전수창, 주한성, 이봉용, 윤일구

연세대학교 공과대학 전기전자 공학부 반도체 공학 연구실

Equivalent circuit models of WGPD and Submodule for 40-Gbps optical receivers

Su Chang Jeon, Han Sung Joo, Bongyong Lee and Ilgu Yun

Abstract

With the need of high-speed and mass data transmission, optical communication system requires the growth of optical components. Waveguide photodiodes(WGPDs) are introduced and circuit models of WGPD and submodule are required for the optical receiver application. In this paper, the circuit models of WGPD and submodule are investigated and modeling results are derived by PEEC methodology. The s-parameters are measured for the test structures of WGPD and submodule and the equivalent circuit models are examined. The modeling results agreed well with the measured data and can present a reasonable physical representation.

Key Words : WGPD, Submodule, 40-Gbps

1. 서론

최근 들어 초고속 광통신과 대용량 정보의 송/수신 기술이 급격히 발전하고 있다. 특히 인터넷을 통한 대용량의 정보서비스와 고속 통신망 구현, 개인이동통신의 기술개발 등을 위해서는 초고속 광대역 광송수신 시스템에 사용되어지는 고속 광소자 부품에 대한 개발 필요성이 크게 증대되고 있다. 광수신소자는 광신호를 수신하여 이를 다시 전기적으로 변환시켜주는 장치인데 특히 포토다이오드와 이를 이용한 수신기 모델에 대한 관심이 점점 높아지고 있다[1]. 이런 상황에서 2003년도에 한국전자통신 연구원에서는 40-Gbps 광검출기 기술 개발을 위한 WGPD 소자 및 광통신에의 응용을 위한 서브모듈을 개발하였다. 현재 40-GHz 이상의 고주파 영역에서는 회로적 관점에서의 구체적인 등가회로 모델링이 일반화되어 있지 않은 상

황이다. 광 수신소자와 그 서브모듈을 회로적으로 모델링 할 수 있다면, 앞으로의 광통신의 기술개발 및 WGPD 전기적 특성해석에 매우 용이할 것으로 판단된다. 이 논문에서는 제작된 40 Gbps급 WGPD 및 서브모듈에 대한 회로적 모델링을 수행하고 그에 대한 전기적 특성을 고찰해 보도록 하겠다.

2. 공정조건 및 모델링 개요

2.1 WGPD 및 서브모듈 제작공정

제작된 WGPD와 서브모듈 구조는 그림 1 과 같다. 초기 에피택설층은 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)이 이용되어졌다. 광섬유 인도영역은 3층의 600 nm의 두께를 가진 InP 층들과 3층의 50 [nm]의 두께를 가진 InGaAsP ($\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$)층들이 교대로 준절연 InP 기판 위에 형성되어져 있다. N

형으로 도핑되어진 InGaAsP 결합 인도영역 이 광섬유 인도 영역 위에 성장되어지며, 500 nm의 두께를 가진 InGaAs 흡수층이 성장되어진다. 에피택셜 층들의 성장 공정 후 패턴전이 방법에 의하여 산등성이 모양이 흡수층에 정의되어졌다. 건식 및 습식식각 방법이 이용되어졌으며, 황산과 인산 계열의 식각 용매들이 선택적 습식식각을 위하여 사용되어졌다. 끝이 좁아지는 형태의 결합 인도영역 역시 패턴전이방법을 이용하여 형성되었다. 이 영역은 입력 광신호의 모드 크기를 변경시키는 역할뿐만 아니라 n형 접촉 층의 역할을 동시에 수행하는 매우 중요한 역할을 수행한다. 입력 광섬유의 결합율을 높이기 위하여 결합 인도 영역이 만들어진 후, 광섬유 인도 영역이 형성되어졌다. 소자의 노출되어져 있는 p-n 접합을 보호하기 위하여 폴리이미드(PI2723 series manufactured by DuPont Co.) 제재와 Si3N4 박막의 증착이 이루어졌다. 다음으로 p형 전극과 n형 전극이 Ti/Pt/Au 합금 및 Cr/Au 합금을 이용하여 증착 되어졌다. 접지-신호-접지의 전극이 형성 되었으며, 다음으로 WGPD의 광통신 응용을 위한 서브모듈 구조가 제작되었다. 서브모듈 구조에서 WGPD는 SiC 열배출로 위에 있으면서, 동시에 세라믹 서브마운트 위의 CPW(Coplanar Waveguide) 전극에 접하고 있다. 전기적인 연결은 2 mil 폭을 가진 리본 본딩을 통하여 이루어졌고, 대칭형 쌍 WGPD 구조를 가지며 광 인도영역 위의 얇은 도파로는 효과적인 커플링을 위한 디자인으로 해석된다.

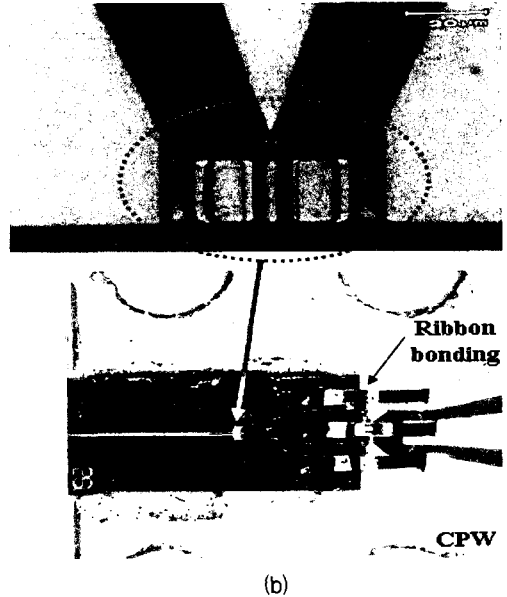
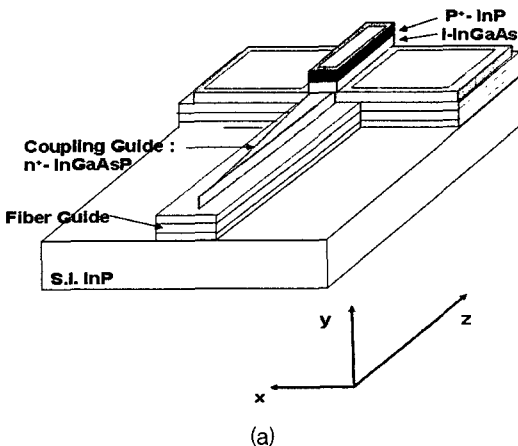


그림 1. WGPD 및 서브모듈: (a) WGPD; (b) WGPD 마이크로스코픽 이미지 및 서브모듈 이미지

2.2 WGPD 및 서브모듈 모델링 개요

WGPD 및 서브모듈의 성능파악을 위한 산란 파라미터(S-parameter)의 측정이 수행되었다. 0GHz 부터 WGPD의 동작특성을 관찰해야 하는 고 주파수 범위까지, WGPD와 서브모듈의 S11 파라미터가 측정되었으며, S11 파라미터는 포트 1에서의 반사계수를 의미하고 이 파라미터를 통해서 WGPD 및 서브모듈의 전기적 특성을 파악할 수 있다. 특히 서브모듈의 회로적 모델링을 위하여 부분 등가 회로 기법인 PEEC (Partial Element Equivalent Circuit) 방법이 사용되었다. 그림 2 에 있는 π -형 빌딩블록을 통해서 의미있는 회로적 소자값만을 추출하여 측정된 S 파라미터와의 최적화를 이루는 작업이 수행되었다[2].

그림 2 의 π -형 빌딩블록은 고주파에서 발생하는 여러 가지 기생성분을 표현하기 위하여 새로이 제시된 형태의 빌딩블록이다. 이 빌딩블록에서 물리/회로적 의미를 가지는 파라미터 값을 추출하여 측정된 S 파라미터와의 최적화를 통해서 회로적 모델링을 실시하였다.



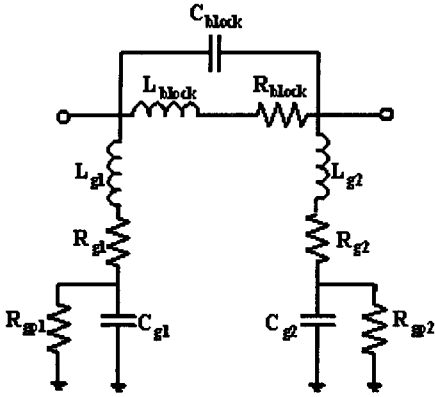
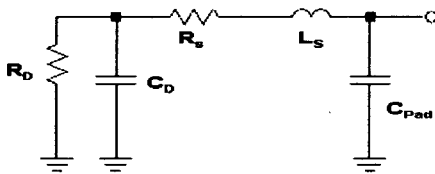


그림 2. 고주파 영역 기생성분을 고려한 π -형 밸런셜블록

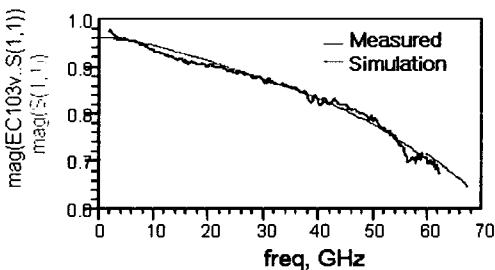
3. 결과 및 고찰

3.1 WGPD 모델링

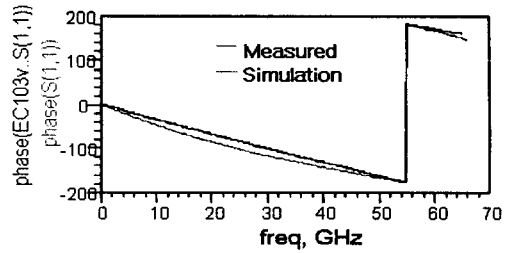
WGPD의 등가회로 모델링 결과는 그림 3 과 표 1 에 나타내었다. 모델링 결과는 측정결과와 특성을 전 주파수 대역에서 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 크기(Magnitude)와 위상(Phase)의 주파수대역에 따른 특성을 보면 고주파가 될수록 크기가 감소되는 경향을 보인다. 이는 전반적인 WGPD 특성에서 캐패시턴스 성분이 우월한데, 증가되어진 주파수가 캐패시턴스 성분을 감소시키기 때문으로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. WGPD 모델링 결과: (a) WGPD 등가회로; (b) Magnitude of S11; (c) Phase of S11

표 1. WGPD 등가회로 파라미터

	물리적 의미	값
R_D	다이오드 저항	2500 Ω
C_D	다이오드 캐패시턴스	90 fF
R_S	다이오드 직렬 저항	0.7 m Ω
L_S	P 전극 접촉 인덕턴스	0.1 nH
C_{pad}	P 전극과 기판 사이의 Pad 캐패시턴스	43 fF

3.1 WGPD 모델링

WGPD의 실제 Receiver 모듈로의 적용과, 이 WGPD를 40-GHz의 고주파 대역까지 손실 없는 동작을 위하여, 고주파용 세라믹 기판을 사용하여 서브모듈이 제작되었다. 세라믹 기판상의 전극은 Coplanar 형태를 가지며 신호와 접지사이에 50 Ohm의 종단저항(100 Ohm의 병렬저항)을 연결하여 동작대역폭의 확대하도록 했으며, 전기적인 연결은 2 mil의 리본본딩으로 연결하였다. 그림 4는 서브모듈의 블록도이고 등가회로 및 0~45 GHz 대역에서의 모델링 결과는 그림 5 와 같다.

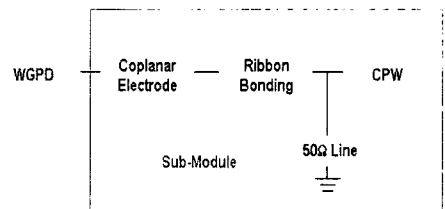
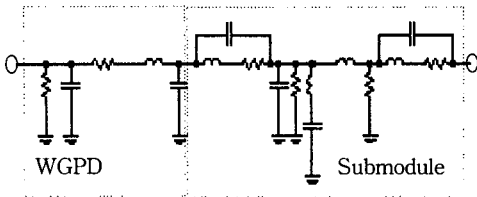
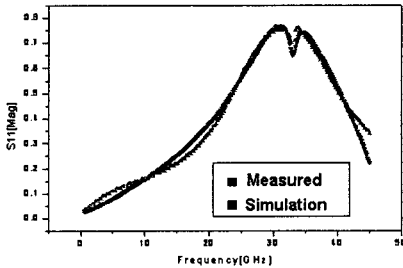


그림 4. WGPD 서브모듈의 블록도



(a)



(b)

그림 4. 서브모듈 모델링: (a) WGPD 및 서브모듈 등가회로; (b) S11 파라미터의 크기

모델링 결과를 살펴보면, WGPD와 마찬가지로 서브모듈 역시 측정 주파수 대역에서 측정결과와 모델링 결과가 일치함을 확인할 수 있다. 결과를 살펴보면, 약 33 GHz 주파수 영역에서 Dip 현상이 나타남을 확인할 수 있다. 이는 서브모듈의 리본본딩 블록에서 직렬 L-C의 조합으로 인한 공진현상으로 판단된다[3].

4. 결론

이 논문에서는 초고속으로 대용량의 정보를 송수신하기 위한 차세대 광통신 시스템에서 사용될 수 있는 수광소자 중 하나인 WGPD와 실제 수신기로의 적용을 위한 서브모듈에 대한 모델링을 실시하였다. 모델링 결과 45GHz까지의 고주파 영역에서 WGPD와 서브모듈의 측정결과와 모델링 결과가 매우 근사함을 알 수 있었고 따라서 회로적/전기적 접근 및 해석이 가능하게 되었다.

약 33GHz에서는 서브모듈에서 Dip 현상이 발생했다. 이 Dip 현상은 리본본딩의 직렬 L-C 성분에 의한 공진현상으로 판단되며, 실제 사용에서 동작 특성의 저하를 가져올 수 있기 때문에 구조적 해석을 통하여 Dip 현상을 관심 주파수 영역 밖으로 이동시키는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] G. Wang, T. Tokumitsu, I.Hanaa, K.Sato, and M. Kobayashi, "Analysis of high speed P-I-N photodiodes S-parameters by a novel small signal equivalent circuit model", IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett., Vol. 12, No. 10, pp.378-380, 2002.
- [2] HSPICE Users Manual, Meta Software, May 1996.
- [3] Masashi Hotta, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "Resonant coupling type microstrip line interconnect using a bonding ribbon and dielectric pad", Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, Vol. 2, p. 797-800, 1998.