

論文98-35D-1-5

DC - 18 GHz의 광대역 레이저 구동회로 제작 및 특성

(Fabrication and Performance of a Laser Driver IC with Broad Bandwidth of DC - 18 GHz)

朴盛鎬*, 李泰雨*, 寄鉉哲**, 金忠煥*, 金逸昊*,
 朴文平*

(Sung Ho Park, Tae-Woo Lee, Hyun Chul Kie, Chung-Hwan Kim,
 Il-Ho Kim, and Moon-Pyung Park)

요 약

10-Gbit/s 광전송시스템에 응용할 목적으로 AlGaAs/GaAs HBT (heterojunction bipolar transistor) 를 이용하여 초고주파 동작특성을 갖는 레이저 구동회로를 설계 및 제작하고 그 특성을 연구하였다. SPICE 와 LIBRA를 사용하여 회로설계와 특성 시뮬레이션을 진행하였다. 회로제작에 이용된 $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$ 의 에미터 면적의 AlGaAs/GaAs HBT 개별소자는 회로동작의 바이어스 조건에서 63 GHz의 차단주파수와 50 GHz의 최대공진주파수의 고속특성을 나타내었다. MMIC 제작후에 레이저 구동회로는 웨이퍼상에서 DC ~ 18 GHz 사이의 광대역 동작주파수와 17 dB의 S_{21} 이득 특성을 보였다. 또한 알루미늄 세라믹 기판을 이용한 금속 패키징후에는 10-Gbit/s의 신호입력시 우수한 eye 패턴, 32 mA의 변조전류 및 40 ps의 상승 및 하강시간 특성을 나타냄으로써 10-Gbit/s 광전송시스템에의 응용 가능성을 확인하였다.

Abstract

For applying to 10-Gbit/s optical transmission systems, we have designed and fabricated a laser driver IC with extremely-high-operation-frequencies using AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistors (HBTs), and have investigated its performances. Circuit design and simulation were performed using SPICE and LIBRA. A discrete AlGaAs/GaAs HBT with the emitter area of $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$, used for the circuit fabrication, exhibited cutoff frequency of 63 GHz and maximum oscillation frequency of 50 GHz. After fabrication of MMICs, we observed the very wide bandwidth of DC ~ 18 GHz and the S_{21} gain of 17 dB for a laser driver IC from the on-wafer measurement. Metal-packaged laser driver IC showed the excellent eye opening, the modulation currents of 32 mA, the rise/fall time of 40 ps, measured at the data rates of 10-Gbit/s.

I. 서 론

정보사회가 고도화되면서 통신 수요자의 요구도 급

속히 복잡하고 다양해지는 경향을 보이고 있으며, 따라서 이를 수용하기 위해 보다 대용량의 초고속 통신 시스템이 필요하게 되었다. 최근들어 10-Gbit/s의 광전송시스템이 실용화 단계에 접어들고 있으며, 이는 미래의 멀티미디어 통신서비스를 위한 광대역 종합정보통신망(B-ISDN: broadband and integrated services digital networks)의 근간이 될 전망이다. 이러한 응용을 위해 Si 바이폴라 소자, GaAs MESFET, HEMT 및 HBT와 같은 초고속 전자소자가 활발하게 연구되어 왔다^[1-5]. 이중에서도 AlGaAs/GaAs

* 正會員, 韓國電子通信研究院 半導體研究團

(Semiconductor Division, ETRI)

** 正會員, 暎園大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Kyungwon University)

接受日字:1997年7月24日, 수정완료일:1997年12月30日

HBT(heterojunction bipolar transistor)는 우수한 고속특성, 대전류 구동능력, 균일한 문턱전압 분포 및 높은 파괴전압으로 인해 초고속 광통신용 전자소자로서 매우 유망하다.

그림 1은 10-Gbit/s의 광전송시스템의 간략화한 블록도를 보여준다. 광송신부는 다중화기를 통하여 입력된 전기신호를 초고속파의 광신호로 변환하는 주 기능을 가지고 있는데, 변조방식에 따라 외부 변조와 직접 변조형으로 나눌 수 있다. 외부 변조의 경우 레이저는 직류 전원에 의해 안정되게 발진시키고 광신호의 변조는 LiNbO3 Mach-Zehnder(LN-MZ) 간섭계형 변조기나 화합물반도체 흡수형 (electro-absorption) 변조기를 이용하는 방식으로서 광섬유증폭기(EDFA: Erbium-doped fiber amplifier)와 함께 사용될 경우 장거리 전송에 적합한 구조이다. 반면에 직접변조는 레이저 구동회로를 이용하여 반도체 레이저(LD: laser diode)를 원하는 전송속도의 전기신호로 변조하는 방식으로서 부품 구성이 단순하고 저가격으로 구현이 가능하여 수 십 Km 이내의 단국간 거거리 통신에 적합하다. 한편 그림에서는 생략하였지만 광수신부는 PD(photo-diode), 저잡음 전치증폭기, 자동이득제어(AGC: automatic gain controlled) 증폭기, 리미팅 증폭기, 클럭재생회로, 판별회로 및 역다중화기 등으로 구성된다.

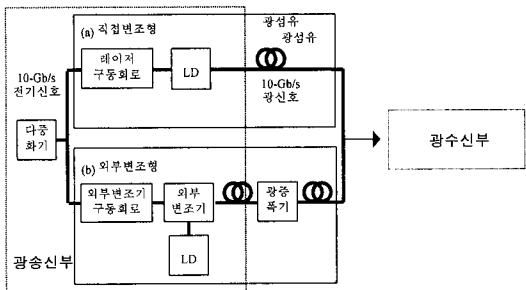


그림 1. 10-Gb/s 광전송시스템의 블록도 (a) 직접 변조형 (b) 외부변조형

Fig. 1. Block diagram of 10-Gb/s optical transmission system (a) direct modulation type (b) external modulation type.

LD를 제어하는 레이저 구동회로는 초고속 변조, 큰 전류구동 능력 및 신호제한 기능의 특성을 가져야 하는 송신부의 핵심 IC라 할 수 있으며, 10-Gb/s용의 회로로서는 스위칭 시간이 최소 50 ps 이하가 되어야 하고, 고속 특성 외에도 30 mA 이상의 변조전류를

흐릴 수 있어야 하며, 넓은 동작 대역폭을 가져야 한다^[7]. 본 연구에서는 10-Gb/s 광링크의 송신부를 구성하는 핵심 IC로서 직접 변조 방식의 레이저 구동 회로를 AlGaAs/GaAs HBT를 능동소자로 하여 설계하고 MMIC(monolithic microwave integrated circuit) 형태로 제작하였으며, 직류 및 고주파 특성을 측정하였고, 또한 패키징까지 완료하여 그 특성을 분석하였다^[8].

II. 소자 기술

레이저 구동회로 제작을 위해 사용한 HBT 에피웨이퍼의 구조를 표 1에 나타내었다. 3인치 직경의 반질연성 (100) GaAs 기판상에 MOCVD 장비를 사용하여 완충층 (buffer layer), 부컬렉터층, 컬렉터층, 베이스층, 에미터층, 에미터 캡층의 순서로 에피층을 성장하였다. HBT의 고속 특성에 가장 영향이 큰 베이스는 GaAs층을 700 Å 두께로 성장하고, 고온 안정성이 높은 불순물로서 탄소를 $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 의 농도로 도핑하였으며, 에미터 저항을 낮추기 위해 실리콘이 고농도로 도핑된 InGaAs 에미터 캡층을 이용하였다.

표 1. AlGaAs/GaAs HBT 에피구조
Table 1. Epi-structure of an AlGaAs/GaAs HBT.

에피 층	두께 (Å)	도핑농도 (cm^{-3})	Al(In) 몰분율	
에미터 캡	n^+ -InGaAs	400	1×10^{19}	0.5
	n^+ -InGaAs	400	1×10^{19}	0~0.5
	n^+ -GaAs	1000	4×10^{18}	
에미터	n^- AlGaAs	500	5×10^{17}	0.3~0
	n^- AlGaAs	1500	2×10^{17}	0.3
베이스	p^+ -GaAs	700	3×10^{19}	
컬렉터	n^- -GaAs	4000	2×10^{18}	
부컬렉터	n^+ -GaAs	5000	4×10^{18}	

HBT 제작을 위해 에미터, 베이스, 컬렉터는 메시식각에 의해 정의되었으며 Ti/Pt/Au, Ti/Pt/Au 및 Ni/Ge/Au/Ti/Au 금속층이 각각에 대한 오믹 전극으로서 사용되었다. 모든 포토 리소그라피 공정은 i-line 스텝퍼를 이용하여 진행되었고, 여기서 에미터와 베이스간의 유효 간격은 $0.25 \mu\text{m}$ 로서 스텝퍼의 정렬 정밀도를 이용하여 준자기정렬 (semi-self-alignment) 처리되었다. 각 오믹금속은 H_2/N_2 분위기속에서 375°C ,

10초간의 RTA (rapid thermal annealing) 조건에서 동시에 열처리되었고, 결과적으로 2×10^{-6} , 3×10^{-5} 및 $7 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 접촉비저항이 얻어졌다. 이어서 소자분리를 위한 메사식각후 니켈크롬 저항을 형성시키고 PECVD 방법에 의해 웨이퍼 전면에 SiN 막을 도포하였다. C_2F_6 를 공정개스로 한 MERIE (magnetically enhanced reactive ion etching) 장비를 사용하여 이방성 (anisotropy)과 단차피복성 (step coverage)이 우수한 금속간 via-hole을 형성하고, Ti/Au를 증착함으로써 1차 배선공정을 완료하였다. 그 위에 다시 금속간 절연막 겸 MIM (metal-insulator-metal) 커패시터로서 역할을 하게 되는 PECVD-SiN 막을 증착하고 via-hole을 형성한 뒤 Ti/Au를 증착하여 2차 배선공정을 진행하였다. 최종적으로 PECVD-SiN 막을 도포하여 각 소자의 표면을 보호하고 전극패드 부분만을 개방함으로써 레이저 구동회로 제작을 위한 MMIC 제작공정을 완료하게 된다. 그림 2에 회로내에서 능동소자로 사용된 $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$ 의 에미터 크기를 갖는 단위 HBT의 평면 SEM 사진을 보이고 있다.

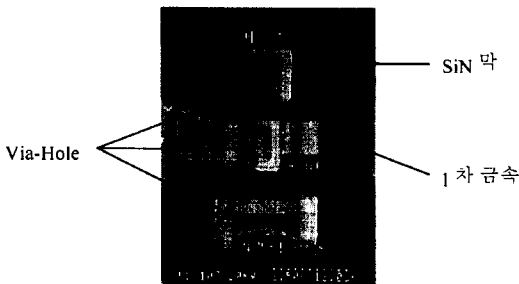


그림 2. 단위 AlGaAs/GaAs HBT의 SEM사진 (에미터 면적: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$)
 Fig. 2. SEM photograph of a discrete AlGaAs/GaAs HBT (emitter area: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$).

10-Gbit/s 레이저 구동회로에 사용된 AlGaAs/GaAs HBT소자의 대표적인 DC 특성으로서 Gummel 곡선과 에미터-공통 I-V 특성곡선을 그림 3(a)와 (b)에 각각 제시하였다. 베이스-에미터 전압에 따른 컬렉터 전류와 베이스 전류의 전달 특성곡선, 즉 Gummel Plot으로부터 이중접합의 계면특성인 컬렉터 전류 및 베이스 전류의 이상지수(ideality factor)는 각각 1.2와 1.9로 나타났으며, I-V 출력 특성으로부터 0.26 V의 오픈 전압과 약 50 정도의 전류이득을 얻었

다.

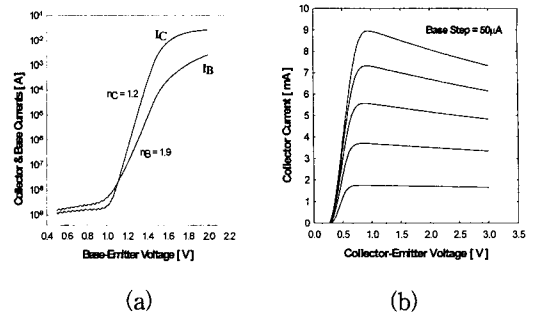


그림 3. 회로제작에 사용된 HBT의 DC 특성 (에미터 면적: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$) (a) Gummel plot (b) 에미터 공통 출력특성 곡선
 Fig. 3. DC performances for HBTs used in circuits fabrication (emitter area: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$) (a) Gummel plot (b) common-emitter I-V characteristics.

Network Analyzer를 이용하여 0.5 - 39.5 GHz의 주파수 범위에서 측정된 S-Parameter로부터 계산된 전류와 전력 이득을 그림 4(a)에서 보여주고 있다. 또한 그림 4(b)에 차단 주파수 및 최대 공진 주파수의 컬렉터 전류에 따른 변화를 제시하였다. 그림의 주파수 응답에서 보는 바와 같이 최적의 바이어스 조건에서 -6dB/oct. 외삽법으로 측정된 차단 및 최대 공진 주파수는 각각 67GHz와 54GHz로서 본 연구의 10-Gbit/s 레이저 구동회로를 설계하고 제작하는데 적합한 특성을 갖는 것으로 평가된다. 회로동작의 바이어스 조건에서는 63 GHz의 차단주파수와 50 GHz의 최대공진주파수를 나타내었다.

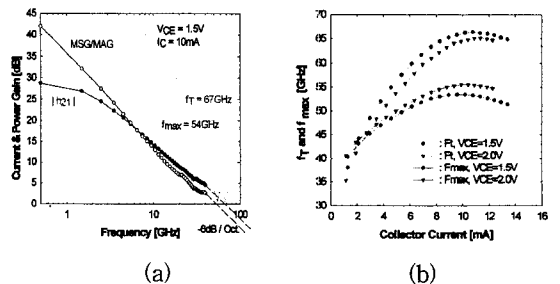


그림 4. 회로제작에 사용된 HBT의 AC 특성 (에미터 면적: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$) (a) Gummel plot (b) 에미터 공통 출력특성 곡선
 Fig. 4. AC performances for HBTs used in circuits fabrication (emitter area: $1.5 \times 10 \mu\text{m}^2$) (a) frequency response of current and power gains (b) f_T & f_{max} versus I_C plots.

III. 회로 설계 및 레이아웃

레이저 구동회로의 주요한 기능 특성으로서 초고속 변조, 대전류 구동능력 및 신호제한 기능 등이 있다. 회로의 광대역 특성이 필수적으로 요구되는 외에도 신호제한 능력은 LD의 보호와 안정된 광신호 발생을 위한 필수적인 기능이다. 본 연구에서 설계한 10-Gb/s 레이저 구동회로의 블럭도를 그림 5에 나타내었다. 레이저 구동회로는 크게 입출력단을 비롯하여 레벨 변환단, 신호제한 기능단, 전류버퍼단, 바이어스단 및 레이저 구동단으로 구성된다. 차동입력단으로 인가된 신호는 레벨변환뿐만 아니라 버퍼역할을 하는 에미터 팔로워 (emitter follower) 단을 거치도록 되어 있으며, 레벨변환된 입력신호는 두 쌍의 차동 증폭회로의 결합으로 이루어진 신호 제한회로의 차동 증폭단으로 각각 인가된다. 신호 제한회로는 두 쌍의 차동 증폭단이 부궤환되도록 연결되어 신호 제한과 함께 주파수 대역이 커지도록 설계하였다. 또한 제한 회로의 출력은 전류 증폭에 의한 버퍼역할을 하는 한 쌍의 에미터 팔로워 단을 거쳐 차동 형태로 출력된다. 차동 출력은 4 개의 20 K Ω 저항과 1 개의 20 μ F 커패시터로 구성된 케환회로를 통해 직류 혹은 저주파 성분이 부궤환됨으로써 차동 출력간의 오프셋 전압차를 보상하도록 설계하였다. 바이어스단은 회로 각 단에서 사용하는 전류미러의 바이어스 전류를 조절하는 기능과 레이저 구동단의 변조 전류량을 조절하는 기능을 하게 된다. 입력과 출력은 차동 모드로 설계되었지만 경우에 따라서는 단일 모드로도 사용될 수 있도록 설계되었다. 에미터 피킹회로는 차동증폭단의 한 쌍의 구동 HBT의 에미터 단자에 각각 직렬로 저항을 연결하고 두 에미터 사이를 커패시터로 결합한 회로로써, 출력신호의 위상편차를 억제하고 주파수 대역폭을 확장할 목적으로 레이저 구동단에 적용하였다. 많은 전류가 흐르는 구동단에서는 전류밀도를 낮추기 위해 1.5 \times 10 μ m² 면적의 HBT를 3 개를 연결하여 사용하였다. 출력쪽에는 마지막 증폭단이 출력 부하에 영향을 받지 않도록 출력버퍼가 필요하다. 바이어스 전압은 -8 V의 단일 전원을 사용하였고, 최대 전력소모는 1.5 W 이하가 되도록 하였다.

회로의 전체 구조를 정의한 후, SPICE를 사용하여 우선 각 회로단에서의 바이어스 동작점을 결정하고 전체 회로 특성을 최적화하였다.

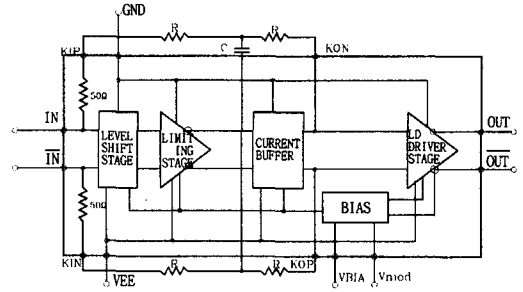


그림 5. 레이저 구동회로의 블럭도
Fig. 5. Block diagram of the laser driver IC.

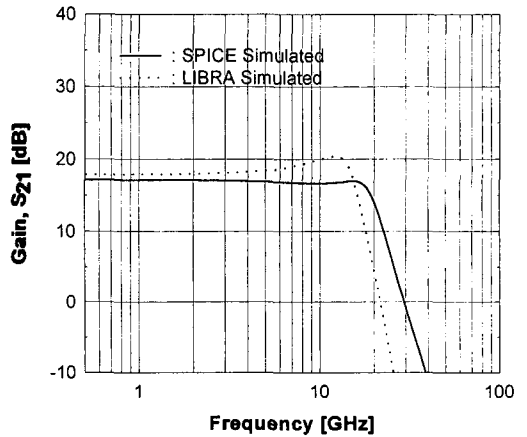


그림 6. SPICE와 LIBRA에 의해 시뮬레이션된 레이저 구동회로의 주파수 대역특성
Fig. 6. Frequency responses of a laser driver simulated by SPICE and LIBRA.

또한 소신호 시뮬레이션을 위하여 HBT의 측정된 S 파라미터를 소신호 시뮬레이터인 LIBRA에 입력하여 설계된 전체 회로의 고주파 특성을 고찰하였다. 또한 10 GHz이상의 고 주파수에서 큰 영향을 미치는 패키지의 기생 인덕턴스에 의한 영향과 신호선 (signal line)의 고주파 특성을 별도로 측정하고 이를 고려하여 회로 시뮬레이션을 하였다. 그림 6에 SPICE와 LIBRA를 이용하여 시뮬레이션 된 10-Gb/s 레이저 구동 회로의 주파수 응답 특성을 나타내었다. 그림에서 SPICE에 의한 주파수 특성은 이득이 17 dB이고 -3 dB 대역폭이 20 GHz로서 설계 사양을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다. 또한 피킹(peaking) 현상과 특성상의 굴곡이 없는 이상적인 특성을 보여주고 있어서 소신호 시뮬레이터인 LIBRA의 결과와 대조적이다. HBT의 측정된 S-파라미터와 기생 성분을 고려한

LIBRA 시뮬레이션 결과는 10 GHz 부근에서 약간의 피킹현상과 더불어 18 dB의 이득과 17 GHz의 대역폭 특성을 보여주고 있다.

회로 레이아웃의 경우 신호선에는 통상 초고주파 신호가 흐르므로 가능한 선의 꺾임을 없애고 상호간섭(cross-talk) 현상이 적도록 신호선간의 적절한 간격을 유지토록 하였으며, 각 회로단간의 기생 인덕턴스를 고려하여 각 단간의 거리를 최소화하는 한편 대칭적 구조를 이루도록 노력하였다. 전송선의 폭은 6 μm 를 기준으로 설계하였고 출력 버퍼단에는 고전류의 영향을 고려하여 HBT 소자폭인 12.5 μm 로 설계하였다. NiCr 저항의 폭은 6 μm 를 기준으로 하고 저항값에 따라 길이를 변화시켰다. 웨이퍼상 측정을 위해 패드간 피치는 150 μm 로 하고 패드 크기는 75 $\mu\text{m} \times 75 \mu\text{m}$ 를 기준으로 하였으나 와이어 본딩의 영향을 최소화하기 위하여 중요한 패드는 130 $\mu\text{m} \times 75 \mu\text{m}$ 로 하여 리본 본딩이 가능하도록 설계하였다. 전체적인 패드 구성은 웨이퍼상 측정과 패키지를 고려하여 배치하였다. 입출력용 패드는 Signal-Ground-Signal (SGS) 형태를 취하고 있다. 전원 패드는 PG (Power-Ground)의 반복적인 형태를 취했다. 그림 7에 MMIC 형태로 제작이 완료된 레이저 구동회로의 칩사진을 보이고 있다. 전체 칩 면적은 1.0 $\times 0.8 \text{ mm}^2$ 이다.

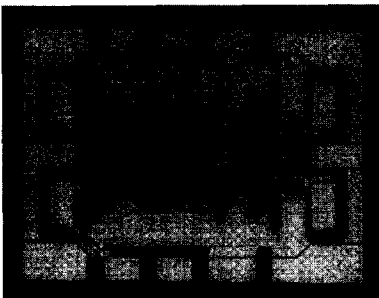


그림 7. MMIC 형태로 제작이 완료된 레이저 구동회로의 칩사진 (칩면적: 1.0 \times 0.8 mm²)

Fig. 7. Chip photograph of fabricated laser driver MMIC (chip size: 1.0 \times 0.8 mm²).

IV. 측정 결과

제작된 레이저 구동회로 MMIC 칩은 패키징에 앞서 HP8510B 회로 분석기 (network analyzer)와 CASCADE Microtech 프로우브 시스템을 사용하여

웨이퍼 상에서의 주파수 응답을 측정하였다. 그림 8에 레이저 구동회로의 주파수에 따른 S_{21} 이득 및 입력 (S_{11})과 출력(S_{22}) 반사손실을 나타내었다. 측정결과 17 dB의 S_{21} 이득 및 DC ~ 18 GHz의 광대역폭 특성을 얻었으며, 이것은 그림 6의 SPICE 및 LIBRA 시뮬레이션 결과와 상당히 일치함으로써 시뮬레이션을 통한 회로설계가 정확하게 이루어졌고, 회로 제작도 성공적으로 수행되었음을 알 수 있다. 그림에서 관측되고 있는 고주파 영역에서의 피킹 현상은 웨이퍼상 측정시의 기생효과에 기인한 것으로 추정된다. 또한 S_{22} 의 경우 20 GHz까지 대략 -10 dB 이하의 양호한 값을 보였으며, S_{11} 의 경우는 10 GHz 까지는 -10 dB 이하로 양호하였지만 그 이상의 주파수 범위에서는 반사손실이 급격히 커지는 경향을 보였는데 이것은 측정시 접지 연결 케이블의 길이가 상당히 길어 입력 임피던스를 크게 증가시켰기 때문으로 판단되며, 패키징을 하여 연결선을 짧게 할 경우 성능 개선이 가능할 것으로 예상된다.

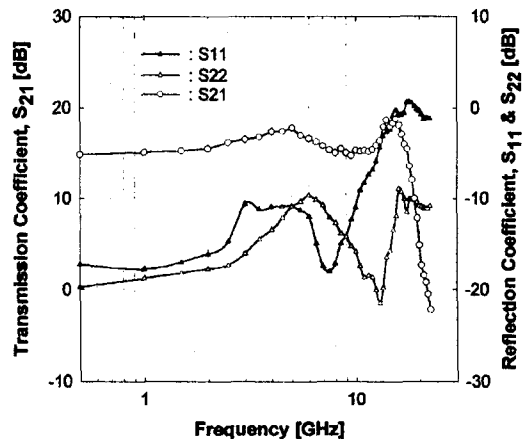


그림 8. 웨이퍼상 측정된 레이저 구동회로의 S_{21} , S_{11} , 및 S_{22} 의 주파수 의존성

Fig. 8. Frequency dependencies of S_{21} , S_{11} , and S_{22} for the laser driver IC.

레이저 구동회로의 웨이퍼상 특성을 측정한 후, 웨이퍼의 후면을 100 μm 의 두께까지 연마하였으며, 그 위에 Ti/Au를 증착하고 칩단위로 절단하였다. 칩을 임피던스 정합 설계된 알루미늄 세라믹 기판에 접착시킨 후 리본 본딩을 하고, SMA 커넥터 방식의 금속 패키징에 어셈블리하여 최종 패키징을 완성하였다. 그림 9(a)에 레이저 구동회로 패키지 모듈의 외관도를

나타내었다. 패키지 모듈은 Anritsu 1763B Pulse Pattern Generator와 HP Sampling Scope를 사용하여 eye 패턴을 측정하였다. 그림 9(b)에 보는 바와 같이 10-Gbit/sec의 임의의 추출 데이터를 레이저 구동 회로 패키지 모듈에 입력하였을 때 대칭성이 뛰어나며 지터(zitter)와 상하 피킹이 작고, 데이터 오류가 거의 보이지 않는 우수한 eye패턴이 얻어졌다. 이때 출력진폭의 20 ~ 80% 범위에서 측정된 상승(t_r) 및 하강시간(t_f)은 약 40 ps였고, 출력 스윙의 크기는 $1.6 V_{p-p}$ 로서 32 mA의 변조전류를 공급할 수 있는 것으로 나타나 LD를 구동시키기에 충분한 특성을 가진 것으로 평가된다.

할 수 있는 10-Gb/s 이상의 전송속도를 갖는 레이저 구동회로를 SPICE와 LIBRA를 활용하여 설계하였다. $1.5 \times 10 \mu m^2$ 의 크기를 갖는 초고속 AlGaAs/GaAs HBT를 능동소자로 하여 MMIC 집적화 공정을 통해 제작한 결과, 웨이퍼 상에서 이제까지 발표된 직접변조 방식의 LD를 구동시키는 회로중 최고값에 근접한 DC ~ 18 GHz 의 광대역 주파수 특성을 관측할 수 있었으며, 이러한 특성은 SPICE 및 LIBRA 시뮬레이션 결과와 상당히 일치함으로써 회로설계 및 제작이 성공적으로 이루어진 것으로 판단된다. 또한 패키징이 된 상태에서 10-Gbit/s의 전송속도를 구현함으로써 가까운 시일내에 10-Gbit/s 광통신시스템에 실용화할 수 있을 것으로 판단된다.

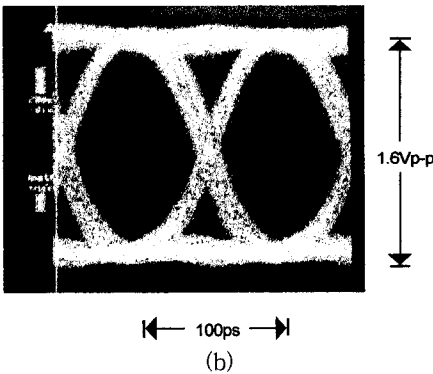
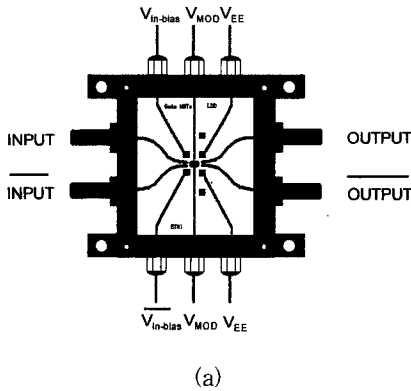


그림 9. 레이저 구동회로 패키지 모듈의 외관도 및 eye 패턴 (a) 세라믹 기판에 칩을 접착시킨 패키지 모듈 외관도 (b) 10-Gb/s eye 패턴

Fig. 9. Schematic and output waveform of a laser driver package module. (a) IC chip mounted on a ceramic substrate. (b) 10-Gb/s eye diagram.

V. 결 론

본 연구를 통하여 광전송시스템의 핵심 전자소자라

참 고 문 헌

- [1] N. Nagano, T. Suzuki, M. Soda, K. Kasahara, and K. Honjo, AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistor ICs for optical transmission systems, IEICE Trans. Electron., vol. E76-C, p.883, 1993.
- [2] 박형무, 10Gbps급 고속 IC의 기술동향 및 국내 현황, 전자공학회지, 제22권, 제2호, p.130, 1995
- [3] J. Akagi, Y. Kuriyama, M. Asaka, T. Sugiyama, N. Iizuka, K. Tsuda, and M. Obara, Five AlGaAs/GaAs HBT ICs for a 20Gb/s optical repeater, IEEE-ISSCC, Digest of Technical Papers, TP 10.1, p.168, 1994.
- [4] M. Nakamura, Y. Imai, E. Sano, Y. Yamaguchi, and O. Nakajima, A limiting amplifier with low phase deviation using an AlGaAs/GaAs HBT, IEEE Solid-State Circuits, vol. 27, p.1421, 1992.
- [5] K. Runge, D. Daniel, R. D. Standley, J. L. Gimlett, R. B. Nubling, R. L. Pierson, S. M. Beccue, K.-C. Wang, N.-H. Sheng, M.-C. F. Chang, D. M. Chen, and P. M. Asbeck, AlGaAs/GaAs HBT ICs for high-speed lightwave transmission systems, IEEE Solid-State Circuits, vol. 27, p.1332, 1992.
- [6] 이태우, 김영석, 김충환, 박문평, 박성호, 10Gbps limiting amplifier design and

fabrication with AlGaAs/GaAs HBTs, 제4회 한국반도체학술대회 논문집, p.119, 1997.

- [7] 이만섭, 박창수, 초고속 광전송시스템, 전자공학회지, 제23권, 제2호, p.123, 1996
- [8] 박성호, 이태우, 김영석, 기현철, 송기문, 박문평, 편광의, 10-Gb/s 광통신시스템을 위한 GaAs

HBT IC의 설계 및 제작, 제4회 한국반도체학술대회 논문집, p.109, 1997

- [9] 박성호, 이태우, 정준오, 박문평, 편광의, 18 GHz bandwidth LD driver IC implemented with AlGaAs HBTs, 제4회 한국반도체학술대회 논문집, p.109, 1997

저 자 소 개

朴 盛 鎬(正會員) 第34卷 D編 第1號 參照

李 泰 雨(正會員) 第34卷 D編 第1號 參照

奇 鉉 哲(正會員) 第34卷 D編 第3號 參照

金 忠 煥(正會員)

1962年 12月 30日生. 1985年 2月 서울대 물리학(학사). 1987年 2月 서울대 물리학(석사). 1993年 2月 서울대 물리학(박사). 1993年 7月 ~ 현재 전자통신연구원 선임연구원. 주관심분야는 GaAs 및 Si 능동소자 모델링, RF 회로 설계 및 특성 평가



金 逸 昊(正會員)

1990년 2월 연세대학교 금속공학과 (학사). 1992년 2월 연세대학교 금속공학과(석사). 1996년 8월 연세대학교 금속공학과(박사). 1996년 8월 ~ 현재 한국전자통신연구원 화합물반도체연구부 Post-Doc. 관심분야는

화합물반도체 물성 및 소자특성

朴 文 平(正會員) 第34卷 D編 第3號 參照