

論文96-33A-2-17

실장된 반도체 레이저의 본딩와이어를 고려한 광대역 변조 특성 해석

(Wideband Modulation Analysis of a Packaged Semiconductor Laser in Consideration of the Bonding Wire Effect)

尹尙基*, 韓英洙***, 金相培**, 李海英**

(Sang-Ki Yun, Young-Su Han, Sang-Bae Kim, and Hai-Young Lee)

요 약

본딩와이어가 광변조 소자의 변조 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 본딩와이어의 인덕턴스를 계산하기 위하여 도체손실을 고려한 모멘트법을 사용하였으며, 본딩와이어의 길이 및 구조 변화가 소자의 광대역 변조 특성에 미치는 영향을 해석하였다. 1 mm 길이의 단일 본딩와이어를 사용하였을 경우, 2 mm에 비하여 7 GHz 이상의 대역폭 증가를 보임으로써 광대역화를 위하여 본딩와이어의 길이가 가장 중요함을 확인하였다. 또한, 일반적으로 사용되는 정자기적 해석 방법에 의한 본딩와이어의 인덕턴스 해석결과는 본 광대역 해석 방법에 의한 결과에 비하여 큰 오차를 갖는 것을 확인하였다. 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어가 평행한 이중 본딩와이어에 비하여 리액턴스 감소 효과가 탁월하며 단일 본딩와이어에 비하여 6 GHz 이상의 대역폭 개선을 보이므로 광대역 반도체 레이저의 실장 연결에 적합함을 확인하였다.

Abstract

Bonding wires for high frequency device packaging have dominant parasitic inductances which limit the performance of semiconductor lasers. In this paper, the inductances of bonding wires are calculated by the Method of Moments with incorporation of ohmic loss, and the wideband modulation characteristics are analyzed for different wire lengths and structures. We observed the modulation bandwidth for 1 mm-length bonding wire is 7 GHz wider than that for 2 mm-length bonding wire. We also observed the static inductance calculation results in dispersive deviation of the parasitic inductance and the modulation characteristics from the wideband moment methods calculations. The angled bonding wire has much less parasitic inductance and improves the modulation bandwidth more than 6 GHz. This calculation results can be widely used for designing and packaging of high-speed semiconductor device.

* 學生會員, ** 正會員, 亞洲大學校 電氣電子工學部
(School of Electrical and Electronics Eng., Ajou Univ.)

*** 正會員, 國際商事 電子事業本部
(Elec. Div., Kukje Corp.)

※ 이 연구는 1995년도 한국과학재단의 연구비지원(과제번호:95-0100-05-01-3)에 의한 결과임.

接受日字: 1995年6月20日, 수정완료일: 1996年1月3日

I. 서론

통신 시스템의 급격한 광대역화는 고속 변조 소자의 개발을 요구하고 있으며, 이러한 소자의 설계 및 제조 기술과 함께 소자의 실용화를 위한 실장기술 개발이 필수적이다. 종래의 낮은 동작 주파수 소자의 실장 구조 기생성분들에 관한 연구는 주로 정전기적 해석을 기초로 하였으며 주파수에 따른 기생성분의 변화가 비교적 낮았다. 그러나, 수 GHz 이상의 대역폭을 갖는

반도체 레이저의 경우, 매우 낮은 내부 임피던스를 가지므로, 소자와 신호선을 연결하는 본딩와이어의 유도성 기생성분(인덕턴스)에 의하여 변조 특성이 크게 나빠지게 되며 정확한 광대역 해석 결과로부터 소자 및 실장 구조의 최적 설계가 요구된다^{[1], [2]}. 또한, 본딩 와이어에 교류신호와 직류전원이 동시에 공급될 경우, 높은 전류에 의한 electromigration 현상이 발생하게 되어 전류에 의하여 발생하는 열의 분산 및 신뢰성 향상을 위하여 여러 본딩와이어를 병렬로 연결하는 다중 본딩와이어의 사용이 필요하다^[3]. 특히, 다중 본딩와이어를 사용하는 경우, 그 사이 간격이나 배치 구조에 따라 기생 특성이 크게 변하므로 주파수에 따른 정량적인 임피던스 해석이나 실제 측정 결과들이 필요하나, 정량적 해석이나 측정 결과가 공개적으로 발표되어 있지 않다. 무한 직선으로 가정된 단일 본딩와이어의 임피던스 특성 해석에 사용되어 온 대부분의 정적(static) 해석 방법은^[4] 광대역 특성 계산에 있어서 큰 오차를 줄 수 있고 임의의 본딩와이어 구조 변화에 따른 영향을 해석하는 데에는 부적합하다. 따라서, 반도체 레이저의 실장후 광대역 동작을 정확히 예측하기 위해서는 기생 용량의 주파수 의존성, 본딩와이어 구조 의존성 등까지를 고려한 정량적인 광대역 임피던스 해석 방법이 요청된다.

본 논문에서는 반도체 레이저의 실장에 사용되는 임의 구조를 갖는 본딩와이어에 대하여 현상학적 도체 손실 등가 기법(Phenomenological Loss Equivalence Method : PEM)을^[5] 이용하여 광대역 도체 손실을 계산하고 이를 모멘트법(Method of Moments : MoM)에^[6] 결합하여 전체 기생 임피던스를 광대역 주파수에 걸쳐 해석하였으며, 계산된 기생 임피던스를 내부(intrinsic) 변조 대역폭이 20 GHz인 반도체 레이저의 교류 등가 회로에 연결하여 기생성분에 의한 외부(extrinsic) 변조 특성을 구하였다. 길이가 1 mm, 2 mm인 본딩와이어를 연결하여 계산한 결과, 각각 차단 주파수가 13.6 GHz, 6.6 GHz로 계산되어 본딩와이어 길이가 가급적 짧아야 함을 확인하였다. 그러나 실장 구조상 부득이하게 본딩와이어 길이가 길어지게 되는 경우에 대하여 본딩와이어의 기생 인덕턴스를 감소시키는 본딩 구조를 이용하는 것이 필요하다. 단일 본딩와이어, 평행한 이중 본딩와이어, 그리고 사잇각을 주어 연결한 이중 본딩와이어를 사용한 경우에 대하여 각각의 변조 특성 변화를 분석하였는데 사

잇각을 갖는 이중 본딩와이어를 이용할 경우, 2 mm 길이 단일 본딩와이어에 비하여 차단 주파수가 6.6 GHz에서 12.6 GHz로 약 6 GHz 증가함을 관찰하였다. 이는 고속 광통신용 변조 소자들의 변조 대역폭과 소자 자체의 차단 주파수가 실장 구조 특히 본딩와이어의 기생 특성에 의하여 결정된다는 사실과 함께 최적 실장 구조 설계의 필요성과 중요성을 보여 주는 것이다.

II. 해석 방법

1. 반도체 레이저의 내부 주파수 변조 특성 해석

레이저 다이오드의 변조 특성은 비율방정식으로부터 직접 계산할 수 있다. 그러나 이 방법은 레이저 다이오드의 변조 특성을 결정하는 여러 가지 기생 용량을 고려하기 어렵고 구동회로와의 상호 작용을 알 수 없는 문제가 있다. 이와는 달리, 교류 등가회로를 이용한 방법은 위의 문제들을 해결할 수 있으며 PSPICE 등과 같은 회로 해석 프로그램을 이용하여 쉽게 레이저 다이오드의 변조 특성을 구할 수 있다.

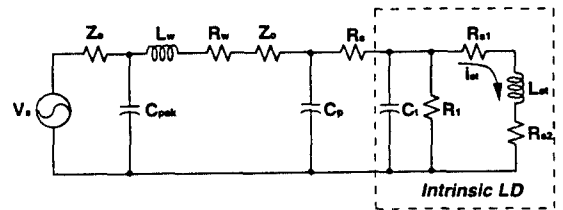


그림 1. 실장된 반도체 레이저의 교류 등가 회로
Fig. 1. An AC equivalent circuit of a packaged semiconductor laser diode.

Intrinsic 레이저 다이오드의 교류 등가회로는 비율방정식을 이용하여 구할 수 있으며 패키지 기생용량을 포함하여 그림 1에 보였다. Intrinsic 레이저 다이오드의 구성요소는 Tucker의 방법을 이용하여 구할 수 있으며, 광집속 계수에 대한 오류를 수정한 비율 방정식^[7] 이용하여 구하였다. Intrinsic 레이저 다이오드를 구성하는 C_i , R_i , R_{st} , L_{st} , R_{s2} 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_i = \frac{\alpha N_s}{\eta V_T} \quad (1)$$

$$R_i = \frac{\tau_n}{C_i \left(1 + \frac{A \tau_n S_n}{1 + \epsilon S_n} \right)} \quad (2)$$

$$L_{st} = \frac{\tau_n}{C_A(\beta + A\tau_n S_o / (1 + \epsilon S_o))} \cdot \frac{(1 + \epsilon S_o)^2}{\Gamma A(N_o - N_g)} \quad (3)$$

$$R_{st1} = \frac{\epsilon \Gamma A(N_o - N_g) S_o}{(1 + \epsilon S_o)^2} \cdot L_{st} \quad (4)$$

$$R_{st2} = \frac{\Gamma \beta N_o}{\tau_n S_o} \cdot L_{st} \quad (5)$$

여기서 η 는 레이저 pn 접합의 이상 계수로 2라고 가정하였으며, N_o , S_o 는 구동 전류에 따라 결정되는 비율 방정식의 정상 상태 해로 캐리어의 수명이 일정하다고 가정하여 얻어진 식을 이용하였다. 위 식 (1) 부터 식 (5)에 사용한 레이저 다이오드의 특성 변수와 값은 표 1과 같다. 그림 1에서 C_{pak} , L_w , R_w , Z_o , C_p , R_s 는 각각 패키지의 기생 용량, 본딩와이어의 인덕턴스와 저항, 정합저항, 활성층 밖의 기생용량, 레이저 다이오드의 직렬저항이다.

표 1. 계산에 사용된 반도체 레이저 특성변수와 값

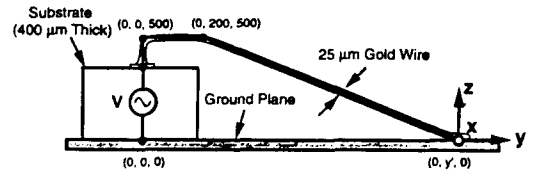
Table 1. Typical variables and values of a semiconductor laser.

기호	변수 설명	변수값
τ_p	광자 수명	1.0 (ps)
τ_n	캐리어 수명	2.2 (ns)
Γ	기본 모드의 광집속 계수	0.3346
A	방이득 계수	3.0×10^{-6} (cm ² /s)
N_o	방이득이 0인 캐리어 밀도	1.0×10^{18} (cm ⁻³)
β	자연방출 결합 계수	1.0×10^{-4}
ϵ	비선형 이득 계수	2.0×10^{-17} (cm ³)
λ	Lasing 파장	1.3 (μ m)
d_s	활성층의 두께	0.15 (μ m)
W	활성층 폭	2.0 (μ m)
L	레이저 공진기 길이	250 (μ m)
a	선자 전하량 / 활성영역 부피	$q / L \cdot W \cdot d_s$

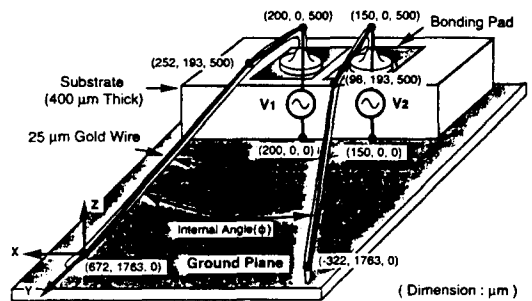
2. 본딩와이어 구조 및 해석 방법

그림 2(a), (b)는 본 논문에서 고려된 본딩와이어 구조로 각각 단일 본딩와이어와 이중 본딩와이어이다. 모멘트법을 이용한 본딩와이어의 기생 임피던스 계산 시 본딩와이어의 구조입력이 쉽도록 실제 구조와의 오차를 최소화하면서 여러 직선 와이어로 분할하였다. 그림 2(a)의 본딩와이어는 25 μ m 직경의 금 와이어를 본딩 장치를 이용하여 두께가 400 μ m 인 기판으로 구성된 본딩스텝(Bonding Step)으로부터 접지 평면

에 연결되었다. 그림에서 y' 이 690 μ m, 1825 μ m일 때 와이어의 길이는 각각 1 mm, 2 mm이다. 그림 2(b)는 그림 2(a)에서 y' 가 1825 μ m일 때의 본딩 와이어 두 개를 50 μ m 간격을 갖는 본딩패드로부터 30°의 사잇각(ϕ)을 주어 접지 평면에 본딩한 것으로, 사잇각이 0°일 때는 사이 간격이 50 μ m인 평행한 이중 본딩와이어가 된다.



(a)



(b)

그림 2. (a) 단일 본딩와이어 구조 및 (b) 사잇각 (ϕ)을 갖는 이중 본딩와이어

Fig. 2. (a) A single bonding wire and (b) double bonding wires with an internal angle(ϕ)

그림 2에 보인 본딩와이어의 임피던스를 계산하기 위해 선형 분할된 본딩와이어를 작은 분할로 나누고 각 분할에서의 전류를 pulse testing 및 pulse expansion 함수로 전개한다¹⁶⁾. 모멘트법 계산의 편이를 위하여 기관의 유전 효과와 매우 낮은 본딩 패드 정전 용량은 무시하였다. 이는 기관 모드(substrate mode)가 수 천 GHz 대에서 발생되며 임피던스가 매우 낮은 반도체 레이저 실장의 경우, 자장이 전장에 비하여 매우 우세하므로 고려되는 주파수 대역에서의 유전효과가 매우 작기 때문이다. 모멘트법 계산에 본딩와이어의 도체 임피던스 효과를 포함하기 위하여 PEM을 이용하여 도체 저항을 계산한 다음, 이를 집중 소자

로서 각 전류 분할에 균일하게 입력하였다^[8]. 평행한 이중 본딩와이어 및 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 자기 및 상호결합 인덕턴스(L, M)는 모멘트법을 통하여 계산한 우(even) 임피던스(Z_o)와 기(odd) 임피던스(Z_o)로부터 계산된다^[8].

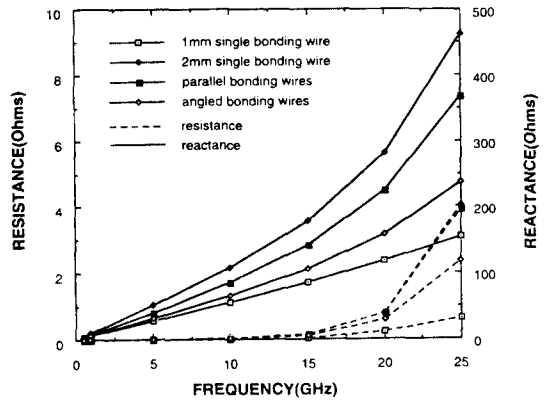
III. 해석 결과 및 고찰

1. 본딩와이어 임피던스 및 인덕턴스

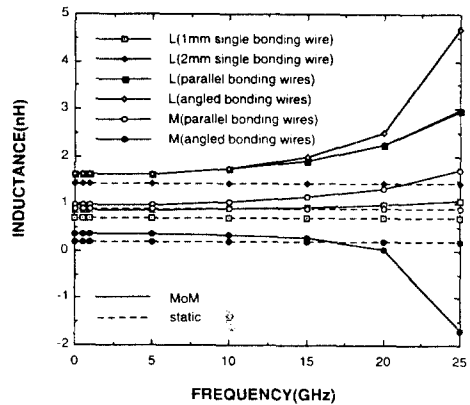
그림 3(a)에 전체 길이가 1 mm, 2 mm인 단일 본딩와이어, 평행한 이중 본딩와이어, 사잇각(30°)이 있는 이중 본딩와이어에 대하여 계산된 전체 저항(R)과 리액턴스(X)를 나타내었다. 전체 저항성분은 리액턴스에 비하여 매우 작으나 도체 손실에 의해 증대되는 방사효과에 의하여 주파수 증가에 따른 급격한 증가를 관찰하였다. 높은 주파수 영역에서 저항의 급격한 증가에도 불구하고, 고려되는 주파수에서 리액턴스가 저항에 비하여 매우 크므로 전체 입력 임피던스 성분 가운데 리액턴스가 우세함을 알 수 있다. 이는 접지 평면에 연결된 본딩와이어의 내부 임피던스가 매우 낮으므로 전장보다는 자장에 의한 영향을 크게 받기 때문이다. 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어에서 방사 저항은 구조적으로 본딩와이어에 흐르는 유효 전류가 감소하여 작은 값을 가지며, 다른 본딩 구조에 비하여 리액턴스는 광대역 주파수에서 크게 감소된 값을 보인다. 이 경우, 고려되는 전체 주파수 대역에서 2 mm 단일 본딩와이어에 비하여 38 % 이상 감소하였으며, 주파수가 증가할수록 리액턴스 감소비율도 증가하였다. 반면에 평행한 이중 본딩와이어는 2 mm 단일 본딩와이어에 비하여 약 15 % 감소하여 임피던스 특성 면에서 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어가 유리함을 확인하였다.

사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 리액턴스 감소 효과를 해석하기 위하여 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 주파수에 따른 변화를 그림 3(b)에 도시하였다. 여러 본딩와이어(2 mm 단일 본딩와이어, 평행한 이중 본딩와이어, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어)들의 자기 인덕턴스는 높은 주파수에서의 증대된 방사 효과에 의하여 증가한다. 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 자기 인덕턴스는 단일 본딩와이어와 평행한 이중 본딩와이어에 비하여 약간 큼을 볼 수 있는데, 이는 근접한 다른 본딩와이어에 유기된 전류에 의해 자속이 증가하기

때문이다.



(a)



(b)

그림 3. 1 mm 및 2 mm 길이의 단일 본딩와이어, 50 μm 사이 간격을 갖는 평행한 이중 본딩와이어, 30° 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 계산된 (a) 전체 입력 임피던스와 (b) 자기 및 상호 인덕턴스

Fig. 3. (a) Calculated total input impedance and (b) self and mutual inductances of the single bonding wire of 1 mm and 2 mm length, parallel bonding wires with a 50 μm spacing, and the double bonding wires with a 30° internal angle

평행한 이중 본딩와이어에서 주파수가 증가함에 따라 상호 인덕턴스가 증가하는 반면, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 상호 인덕턴스는 오히려 감소한다. 이는 높은 주파수에서 본딩와이어에 흐르는 전류의 크기가 전원 부분에서 작은 값을 갖고 접지 지점 근처에서 큰 값을 갖는 비균일 현상에 기인한다. 이 현상은 주파

수가 증가할 수록 방사효과가 증대되어 두드러진다. 이와 같이 접지 지점의 전류 크기가 전원 부분에 비하여 큰 이유는 영상 와이어로 대체된 접지 평면과 실제 와이어의 간격이 좁으므로 높은 주파수에서 상호 자기결합이 증가하기 때문이다. 따라서 두 본딩와이어간 사이 간격이 좁고 전류 크기가 작은 전원부분에 비하여 접지부분에서 두 와이어간의 사이 간격 및 전류 크기가 크므로 유효 상호 인덕턴스가 감소하게 된다. 그리고 이러한 상호 인덕턴스의 감소는 주파수 증가에 따라 증가되는 비균일 전류 현상으로 인하여 현저해진다. 또한, 20 GHz 이상에서 상호 인덕턴스는 음수 값을 보이는데, 그 이유는 높은 주파수에서 본딩와이어간의 자기결합 가운데 정(positive) 자기결합보다 부(negative) 자기결합이 우세하게 되기 때문이다¹⁹⁾.

본 결과의 검증을 위해 무한길이 와이어의 정 자기 인덕턴스 및 상호 인덕턴스를 다음 식으로부터 계산하여 그림 3(b)에 같이 도시하였다¹¹⁰⁾.

$$\text{Static } L \approx 0.2 \ln\left(\frac{2h}{a}\right) \quad [\mu\text{H/m}] \quad (6)$$

$$\text{Static } M \approx 0.1 \ln\left[1 + \left(\frac{2h}{d}\right)^2\right] \quad [\mu\text{H/m}] \quad (7)$$

위 식 (6), (7)에서 h , a , d 는 각각 접지 평면으로부터의 높이, 와이어 반경, 본딩와이어의 사이간격이다. 위 식을 이용하여 계산할 때, 굴곡이 있는 본딩와이어를 여러 선형와이어로 분할 후, 각각의 분할된 직선 와이어의 평균 폭, 높이, 간격을 계산하여 입력하였다. 정적 계산 방법에 의한 결과와 본 논문에서 제시한 계산결과와의 오차는 낮은 주파수에서는 정 자기 인덕턴스를 계산할 때 무한 길이를 갖는 와이어를 가정하고 선형 분할하였기 때문이며, 높은 주파수에서는 상기한 비균일 전류 현상에 기인한다. 그러므로 일반적으로 사용되는 식 (6), (7)에 의한 본딩와이어의 정적 해석은 실제 본딩와이어의 인덕턴스에 대하여 많은 오차를 가지므로 정 자기 인덕턴스 계산식에 의한 실장후 외부 특성 예측은 매우 부정확하며, 모멘트법과 같은 광대역 해석을 통한 임피던스 계산의 중요성을 확인하였다.

2. 반도체 레이저 주파수 변조 특성

그림 4는 PSPICE를 이용하여 계산한 직렬 저항 R_s 가 5 Ω 인 intrinsic 레이저 다이오드의 구동 전류 (I_0)와 발진 임계 전류(I_{th})의 비에 따른 주파수 응답 특성을 도시한 것이며, 구동 전류에 따라 대역폭이 I_0 - I_{th} 에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 이 때의 발진

임계 전류는 10.888 mA이다. I_0/I_{th} 가 10일 때 계산된 intrinsic 레이저 다이오드의 구성요소인 C_t , R_1 , R_{s1} , R_{s2} , L_{st} 는 각각 344.92 pF, 0.23 Ω , 12.19 m Ω , 2.84 $\mu\Omega$, 0.32 pH이다.

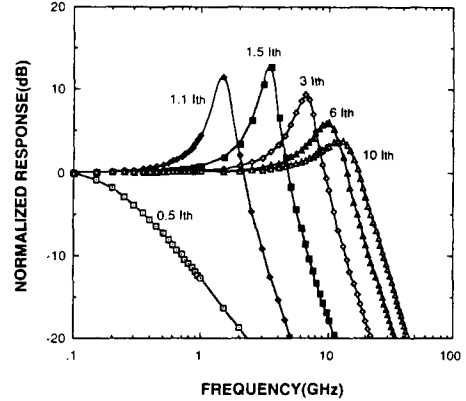


그림 4. 직렬저항이 5 Ω 인 intrinsic 레이저 다이오드의 구동전류에 따른 주파수 응답

Fig. 4. Frequency responses of an intrinsic laser diode with a 5 Ω series resistance for different bias currents.

그림 5는 그림 1에 보인 실장된 반도체 레이저 다이오드의 교류 등가회로($C_{pak} = 0.2$ pF, $C_p = 2$ pF, $Z_0 = 25$ Ω , $R_s = 5$ Ω , $R_w = 1\Omega$ ¹¹¹⁾)중 본딩와이어의 기생성분(L_w)에 모멘트법 및 정적 해석 방법을 통하여 구한 값을 입력하여 계산한 외부 주파수 변조 특성을 직렬 저항만을 고려한 반도체 레이저의 특성과 비교하여 나타낸 것이다. 본딩와이어 인덕턴스는 그 값이 주파수에 따라 증가하므로 그림 3(b)로부터 여러 본딩와이어 인덕턴스는 curve-fitting을 통하여 다음과 같은 완전식으로 표현하였다.

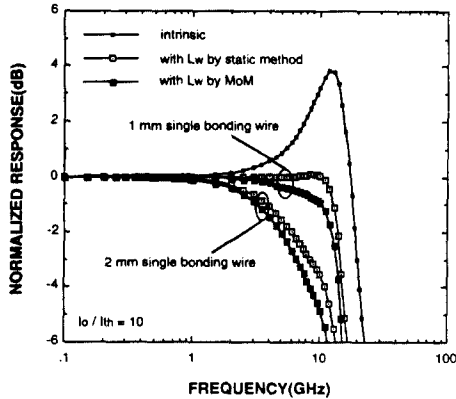
$$L_{SBW, 1mm} = 0.872 - 0.000025f + 0.000176f^2 + 0.0000427e^{0.21f} \quad (8)$$

$$L_{SBW, 2mm} = 1.6128 - 0.00216f + 0.001235f^2 + 0.001165e^{0.25f} \quad (9)$$

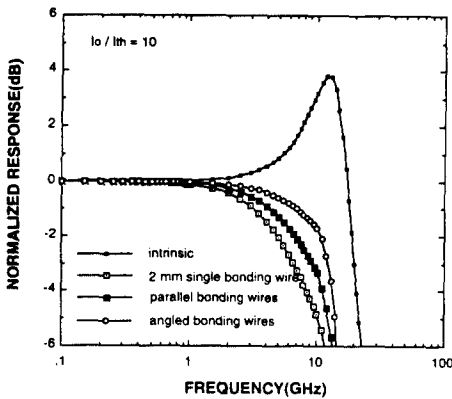
$$L_{PDW} = 1.3096 - 0.00546f + 0.00112f^2 + 0.001151e^{0.21f} \quad (10)$$

$$L_{ADBW} = 1.001 - 0.00261f + 0.00063f^2 + 0.00071e^{0.22f} \quad (11)$$

위의 식 (8) ~ 식 (11)은 각각 길이가 1 mm인 단일 본딩와이어, 2 mm인 단일 본딩와이어, 평행한 이중 본딩와이어, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 인덕턴스 식으로 L 의 단위는 nH이고 주파수(f)는 GHz이다.



(a)



(b)

그림 5. (a) 실장된 반도체 레이저의 본딩와이어 길이에 따른 주파수 응답 및 (b) 2 mm 단일 본딩와이어, 사이 간격이 50 μm 인 평행한 이중 본딩와이어, 30° 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어를 사용하였을 경우의 주파수 응답

Fig. 5. Frequency responses of a packaged semiconductor laser (a) to bonding wire length variation and (b) for the case of a 2 mm-length single bonding wire, parallel bonding wires with a 50 μm spacing, and the double bonding wires with a 30° internal angle

그림 5(a)는 식 (6), (7)을 통하여 계산한 정적 인덕턴스와 모멘트법에 의한 인덕턴스 식 (8), 식 (9)를 그림 1의 L_w 항에 입력하여 비교한 것으로, 정적 인덕턴스는 그림 2(a)에서 본딩와이어 길이가 1 mm, 2 mm일 때 식 (6)에 의하여 0.69 nH, 1.43 nH로 각

각 계산되었다. 모멘트법과 식 (6)에 의하여 각각 계산된 본딩와이어의 인덕턴스를 입력하였을 때 본딩와이어 길이가 1 mm, 2 mm인 경우에 각각 1 GHz, 2 GHz 대역폭 차이를 보였다. 또한, 모멘트법을 이용한 광대역 변조 특성 계산에서 본딩와이어 길이가 1 mm인 경우, 대역폭이 13.6 GHz로 본딩와이어 길이가 2 mm일 때에 비하여 7 GHz 정도의 대역폭 이득을 얻을 수 있다. 이로써, 광대역 소자의 실장용 본딩와이어의 길이는 광대역 외부 동작을 위하여 매우 중요하며 짧게 설계되어야 함을 확인하였다. 그림 5(b)는 2 mm 단일 본딩와이어, 사이 간격이 50 μm 인 평행한 이중 본딩와이어, 사잇각(30°)이 있는 이중 본딩와이어를 각각 사용하였을 때의 계산된 외부 변조 특성을 나타내었다. 단일 본딩와이어의 차단 주파수가 6.6 GHz로 intrinsic 레이저 다이오드의 대역폭에 비하여 매우 큰 감소를 보였다. 평행한 이중 본딩와이어의 경우, 차단 주파수가 9.3 GHz로 단일 본딩와이어에 비하여 2.7 GHz의 대역폭이 개선되었다. 특히, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 경우, 차단 주파수가 12.6 GHz로 단일 본딩와이어에 비하여 6 GHz의 큰 대역폭 증가를 관찰하였으며, 1 mm 길이의 단일 본딩와이어를 사용하였을 때의 차단 주파수와 비슷하다. 따라서 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어를 사용하므로써 효과적인 길이 단축 효과를 기대할 수 있다. 그러므로 실장 구조 조건상 부득이 긴 연결을 필요로 할 경우, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어를 사용함으로써 본딩와이어에 의한 기생 효과를 최소화하고 사용 대역폭을 크게 개선할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

모멘트법과 현상학적 도체 손실 등가 기법을 결합하여 반도체 레이저의 실장에 사용되는 본딩와이어의 광대역 변조 특성을 해석하였으며 외부 변조 특성에 대한 본딩와이어의 영향을 분석하였다. 이로부터 반도체 레이저의 외부 변조 특성을 제한하는 주요 실장 기생 성분은 본딩와이어의 인덕턴스임을 확인하였다. 또한, 일반적인 정적 해석 방법에 의한 실장후 외부 변조 특성 계산은 모멘트법에 의한 광대역 해석 결과에 비하여 차단 주파수 근처에서 수 dB 이상의 오차를 보임을 관찰하였다. 특히, 본딩와이어의 길이가 길어지고 접지 평면에 대한 수직 높이가 증가할 수록 이러한 오차가

현저해진다. 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어를 사용하였을 경우, 광대역 주파수 범위에서 리액턴스가 38 % 이상 감소하였으며 단일 본딩와이어에 비하여 6 GHz 이상의 대역폭이 증가하였다. 이로써, 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어가 광대역 소자에 적합한 연결 방법임을 확인하였다. 본 논문에서 사용된 해석 방법은 임의의 실장 구조와 본딩와이어 구조에 적용할 수 있으며, 본 해석 결과 및 구조적 개선은 광대역 소자의 외부 변조 특성을 향상시키는 데 중요한 정량적 자료로 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Proceedings of Joint Workshop on New packaging techniques for MMICs and discrete devices and loss, crosstalk, and package effects in microwave and millimeterwave integrated circuits." *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Boston, 1991.

[2] M. Nakamura, N. Suzuki and T. Ozeki, "The Superiority of optoelectronic integration for high-speed laser diode modulation." *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. QE-22, pp. 822-826, June 1986.

[3] M. Pecht, *Handbook of electronic package design*, Dekker, 1991.

[4] R. H. Caverly, "Characteristic impedance of integrated circuit bond wires." *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-34, pp. 982-984, Sep. 1986.

[5] H.-Y. Lee, T. Itoh, "Phenomenological loss equivalence method for planar Quasi-TEM transmission lines with a thin normal conductor or superconductor," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 37, no. 12, Dec. 1989.

[6] H.-Y. Lee, "Wideband characterization of a typical bonding wire for microwave and millimeter-wave integrated circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.* vol. 43, no. 1, pp. 63-68, January 1995.

[7] 김 창균, 도 만희, 김 상배, "레이저 다이오드의 전기적 미분특성에 관한 연구," 대한전자공학회지, 제 30권, A편, 7호, 1993년 7월

[8] 윤 상기, 이 해영, "초고주파 소자를 위한 사잇각을 갖는 이중 본딩와이어의 광대역 특성 해석," 대한전자공학회지, 제 32권, A편, 제 9호, 1995년 9월

[9] H.-Y. Lee, "Wideband characterization of mutual coupling between high density bonding wires," *IEEE Microwave and Guided wave letters*, vol. 4, no. 8, August 1994.

[10] C. S. Walker, *Capacitance, Inductance and Crosstalk Analysis*. Artech House, 1990, pp. 85-92.

[11] R. S. Tucker et. al., "High-speed and Ultra low-chirp 1.55 μm Multiquantum Well λ/4-shifted DFB lasers," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. LT-2, pp. 385-393, August 1984.

저 자 소 개

尹尙基(學生會員) 第 32卷 A編 9號 參照
 현재 아주대학교 전자공학과
 대학원 석사과정

韓英洙(正會員) 第 31卷 A編 5號 參照
 현재 국제상사 전자사업본부
 재직중

金相培(正會員) 第 31卷 A編 6號 參照
 현재 아주대학교 전기전자공학부
 교수

李海英(正會員) 第 32卷 A編 7號 參照
 현재 아주대학교 전기전자공학부
 교수