

## 반도체 레이저의 전류 차단층 구조들이 정적 및 동적특성에 미치는 영향

김동철<sup>†</sup> · 심종인 · 박문규\* · 강중구\* · 방동수\* · 장동훈\* · 어영선

한양대학교 전자전기제어계측공학과, \*삼성전자

Ⓣ 425-791 경기도 안산시 사 1동 한양대학교 1271 전자전기제어계측공학과

(2003년 4월 7일 받음, 2003년 6월 4일 수정본 받음)

직접 변조형 반도체 레이저 다이오드에서 전류차단층의 구조들이 누설전류 및 대역폭에 미치는 영향을 조사하였다. 전류차단층을 통한 누설전류는 전류-전압미분특성 곡선을 통하여, 전류차단층의 기생성분들이 대역폭에 미치는 영향은 차감법(Subtraction method)을 사용하여 분석하였다. 실험결과로부터 정적 및 동적특성에 동시에 우수한 특성을 보이는 전류차단층 구조로서 'inin'형 차단구조가 매우 효과적임을 밝혔다.

주제어 : current blocking layers, 3 dB bandwidth, parasitic effect, subtraction method.

### I. 서 론

초고속 직접변조용 반도체 레이저에서 전류차단층 구조는 광 및 전자의 구속역할을 동시에 수행하는 기능이 있다. 적절치 못한 전류차단층의 제작은 여분의 기생성분을 발생 시켜 변조 대역폭을 제한하고, 또한 누설전류를 발생시켜 미분효율을 저감시키는 역할을 한다.<sup>[1,2]</sup> 전류차단층에 의한 기생성분 발생은 RF 신호 입력이 활성영역까지 완전히 전달되지 못하게 하여, 고주파 영역에서 대역폭을 제한할 뿐 아니라 저주파수 영역에서의 심한 roll-off 현상을 일으킨다.<sup>[3]</sup> 또한 전류차단층에 누설전류가 있으면, 문턱전류 및 미분효율을 열화시키며 특히 온도특성에 나쁜 영향을 준다.<sup>[4]</sup> 일반적으로 누설 전류 특성이 우수한 전류차단층은 큰 기생성분으로 인해 변조 특성이 나빠지게 되어 서로 상보적 관계가 있다. 따라서 전류차단층의 구조는 누설전류와 변조대역폭을 동시에 고려하여 설계 되어야 한다.

InP계 광통신용 고속 직접변조 반도체 레이저의 경우, 전류차단층 구조로서는 pn(p-InP/n-InP/p-InP/n-InP substrate)구조<sup>[5]</sup>와 Fe를 도핑한 반절연층(semi-insulating layer)의 i-InP<sup>[2]</sup>를 이용하는 경우가 있다. pn 전류 차단층 구조는 누설전류차단에는 우수한 특성을 나타내는데 반해 기생용량이 매우 커서 2.5 Gb/s 이상의 고속 변조특성에 사용하는 데에는 많은 어려움이 있다. 이에 반해 InP층에 Fe를 도핑하여 성장시킨 반절연층의 i-InP를 사용하는 경우는 기생용량을 현저히 줄일 수 있는 장점이 있는 반면에, 누설전류 차단에 어려움이 있다고 알려져 있다. 그러나 아직 i-InP를 이용한 전류차단층의 다양한 구조에 대해서 전류차단층의 구조가 누설전류 및 변조대역폭에 미치는 영향에 대해서 체계적으로 보고된 바가 거의 없다.

본 논문에서는 누설전류의 감소와 대역폭 확보의 측면에서, 동일한 활성층 구조에 대해 'in', 'pnin', 'inin'의 세가지 서로

다른 전류차단층 구조를 갖는 반도체 레이저를 제작하였다. 이들에 대해 누설전류 및 고속변조특성을 조사하여, 정적 및 동적특성에 가장 우수한 전류차단 구조를 밝혔다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 본 연구에 사용된 반도체 레이저 구조 및 해석방법, III절에서는 실험 및 해석결과, 마지막 IV절에서는 얻어진 결과를 정리하였다.

### II. 전류 차단층 구조 및 해석 방법

#### 2.1. 제작된 소자 구조

본 연구에서 사용한 반도체 레이저 소자는 발진파장 1.3  $\mu\text{m}$ 의 Distributed Feedback-Laser Diode(DFB-LD)를 사용하였다. 소자들은 MOCVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 방식으로 세번의 결정성장을 통해 제작되었다. n-InP 기판 위에 회절 격자를 제작하고 그 위에 다중양자우물 구조의 활성층과 두께 0.1  $\mu\text{m}$ 의 p-InP clad층을 성장한다. 노광 및 에칭을 통해 폭 1.0  $\mu\text{m}$ 의 광도파로 폭을 형성하고, 2차 MOCVD 결정성장을 통해 전류차단층을 형성한다. 활성도파로 위에 남아 있던 SiO<sub>2</sub> 절연막을 에칭하고, 기판 전면에서 두께 2.0  $\mu\text{m}$ 의 p-InP clad층과 p-InGaAs cap층을 마지막 3차 결정성장을 통해 성장한다. 그림 1에 제작된 소자의 활성층 구조를 포함한 소자의 개념도를 나타내었다. 공진기 길이는 200  $\mu\text{m}$ , 활성영역의 도파로 폭은 1.0  $\mu\text{m}$ 이고, 활성층의 두께는 0.085  $\mu\text{m}$ 이다. 회절 격자는 n-InP 기판 위에 형성되었으며, 정규화된 광결합계수  $\kappa L$ (광결합계수  $\kappa$ 와 길이  $L$ 의 곱)은 2.0이 되도록 하였다. 활성층은 양자우물 수 12개의 InGaAsP/InGaAsP 다중양자우물 구조로 되어있으며, 양자우물로서는 0.8% 압축 변형의 두께 7 nm, 전위장벽으로서 -0.2% 인장 변형의 두께 10 nm의 InGaAsP 물질이 사용되었다. 전위장벽의 밴드갭과장은 1.1  $\mu\text{m}$ 이고, p-SCH층과 n-SCH층의 두께는 각각 30 nm와 70 nm이다. 공진기의 전반부와 후반부의 반사율은 0.1%와 95%로 각각 AR/HR 코팅하였다.

<sup>†</sup>E-mail: snoksu@giga.hanyang.ac.kr

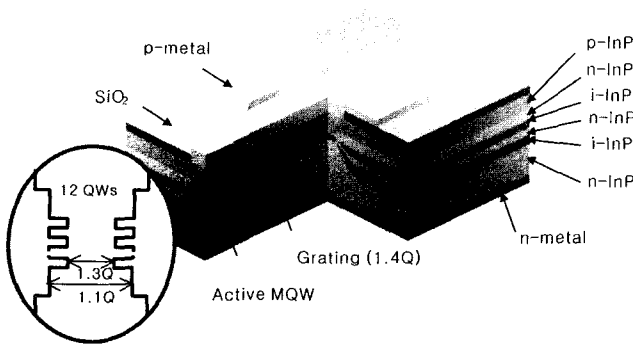


그림 1. Chip configuration ('inin' 구조).

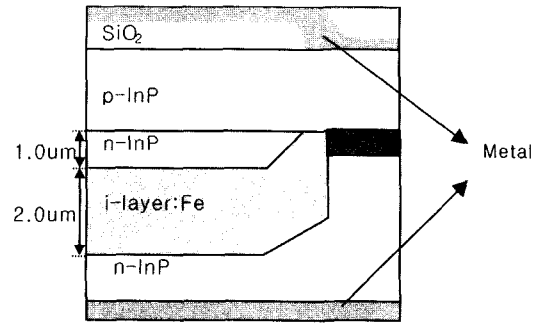
**2.2. 제작된 전류 차단층 구조**

전류차단층의 구조가 반도체 레이저의 동적 및 정적특성에 미치는 영향을 알아 보기 위해서 세 종류의 서로 다른 전류차단층 구조를 갖는 소자들을 제작하였다. 전류차단층의 구조로는 MOCVD 결정성장에 유리한 EMBH(Etched Mesa Buried Heterostructure)가 채용되었다.<sup>[6]</sup> 세가지의 전류차단층 구조에 대한 도식을 그림 2(a), (b), (c)에 나타내었다. 그림 2(a)는 'in' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP(sub))형의 전류차단 구조이다. 이 구조는 순수한 반절연체 구조의 상단에 정공 차단을 위한 n-barrier를 삽입하여 누설 전류를 줄인 형태로, 이미 이론과 실험으로 검증된 구조이다.<sup>[2,7]</sup> n-InP기판과 n-barrier는 Si 도핑하였고, i-layer와 n-barrier 는 각각 2.0, 1.0 μm의 두께를 갖도록 성장시켰다. 그림 2(b)는 'inin' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP/i-InP/n-InP(sub)) 구조이다. 'in' 구조의 두꺼운 i-layer 사이에 n-barrier 를 삽입하여 정공 차단 효과를 이중으로 한 형태이다. 도핑농도는 'in' 구조에서와 같고, 두께는 아래층에서부터 i, n, i, n-layer에 대해 각각 1.0, 1.0, 1.5, 0.8 μm로 하였다. 마지막으로, 그림 2(c)는 'pnin' 구조에서 변형된 'pnin' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP/p-InP/n-InP(sub)) 구조이다. 'inin' 구조의 하단 i-layer 대신 p-layer를 삽입하여서 기판으로의 전자 차단효과를 기대하였다. 성장 두께는 'inin' 구조와 같고, p-layer는 Zn 도핑하였다. 특히, 'inin' 구조 성장시에는 지역 p-i-n (local p-i-n junction)형성을 줄이고 지역 pn (local p-n junction)을 키우기 위해 수직으로 세워진 mesa 구조를 형성하였다. 'in' 구조의 경우, 이론적으로는 Fe 도핑된 'i-layer'의 재성장 두께가 두꺼울수록 전자를 차단하고 정전용량을 줄여 정적, 동적특성을 모두 우수하게 할 수 있다. 그러나 실 제작시, i-layer 두께가 두꺼워지면 상대적으로 누설전류의 통로가 되는 p-InP와 i-layer의 접면이 넓어져서, 정적 특성이 현저히 떨어지게 된다. 이로인해, in 구조의 재성장 두께는 정적/동적 특성 향상을 위해 최적화된 값이다.

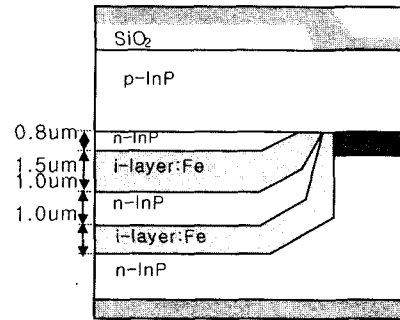
**III. 누설 전류 및 기생용량 해석 방법**

**3.1. DC 누설 전류 해석 방법**

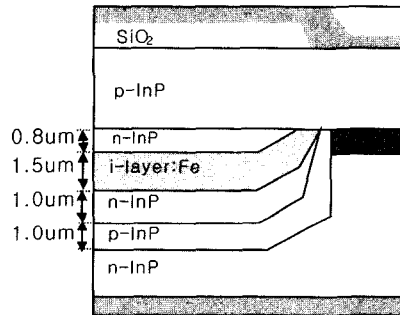
정적 바이어스 하에서 누설 전류의 정도는 chip의 기생 저항성분을 측정하여 간접적으로 알 수 있다. 이를 위해 소자의 전류-전압 미분 특성곡선을 활용한다. 일반적으로, 측정된 전



(a) 'in' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP sub) 구조.



(b) 'inin' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP/i-InP/n-InP sub) 구조.



(c) 'pnin' (p-InP/n-InP/i-InP/n-InP/p-InP/n-InP sub) 구조.

그림 2. 'in', 'inin', 'pnin' 각 구조에 대한 도식화.

류-전압 특성곡선을 미분해서 소자의 파라미터 값을 얻어내는 데, 이 방법은 이중 접합 구조 레이저 소자의 특성 이해에 매우 유용하다. 이 방법을 통해서 소자내의  $R_s$  (직렬저항),  $\beta$  (exponential junction parameter), 그리고 레이저의  $I_{th}$ (문턱 전류)을 얻을 수 있게 된다. 이러한 파라미터들로 표현한 전류 (I)-전압(V) 관계식은, 소자를 이상적인 p-n 접합 다이오드로 고려함으로써 Shockley 방정식에 의해 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$I = I_s [\exp\beta(V - IR_s) - 1] \tag{1}$$

여기서,  $I_s$ 는  $V = I \cdot R_s$  일때의 전류값이고,  $\beta$ 는  $q/\eta kT$ 로써 표현이 가능한데,  $q$ 는 단위 전하량,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $T$ 는 절대온도, 그리고  $\eta$ 는 소자가 이상적인 다이오드와 얼마나 일치하는지를 결정해주는 상수값(Ideality factor)이다.

1) 문턱 전류 이전에서의 특성

정 바이어스 동작에서 전류는 지수항에 지배적이므로, 식 (1)

에서 ‘-1’항은 무시할 수 있고, 매개변수들이 전류의 변화에 독립적이라고 가정할 때, 전압을 전류에 관해 일차 미분하면 식 (2)을 얻게 된다.

$$\frac{dV}{dI} = \frac{1}{\beta} + R_s \quad (2)$$

수식 표현상 좀더 편의를 주기위해서 식 (2)를 다음과 같이 표현한다.

$$I \cdot \frac{dV}{dI} = \frac{I}{\beta} + I \cdot R_s \quad (3)$$

식 (3)을  $I \cdot dV/dI - I$ 에 관한 일차 함수로 표현하면,  $I=0$ 에서의 세로축의 절편을 통해  $\beta$  값을 얻고, 그 기울기를 통해서  $R_s$  값을 동시에 얻을 수 있다. 그림 3은 일반적인 이종접합 (Heterojunction) 레이저의 전류-전압과 이의 미분 특성 곡선을 보여주고 있다.

2) 문턱 전류 이후에서의 특성

그림 3에서 보는 것처럼 문턱전류( $I_{th}$ ) 이상에서, 광 출력( $P_{out}$ ) 이 급하게 증가하고  $I \cdot dV/dI$ 는 불연속지점이 생기는 것을 볼 수 있다. 이에 대한 메커니즘은 다음과 같다. 전류 주입량을 서서히 증가시킴으로 인해 접합면에서의 전위차는 log 함수형태로 증가하게 되고, 주입되는 전류의 양이 소자 내에서 population inversion 을 일으켜 충분히 유도방출이 형성되면, 이때부터는 주입되어 근처에 분포되어 있는 여분의 캐리어들 (excess carriers)이 유도방출에 소모되므로, 접합면에서의 전위차에 대한 변화를 주지 못하게 된다. 즉, 전자와 정공의 Quasi-Fermi 에너지 등급(각각  $F_n, F_p$ )이 고정되는 것이므로, 결국은 문턱전류 이상에서는 접합 전위차가 고정된다. 접합면에서의 전위차( $V_j$ )와 Quasi-Fermi 에너지등급의 관계는  $F_n - F_p = qV_j$ 이므로, 문턱전류 이상에서의 관계는 다음과 같다.

$$V = IR_s + (V_j)_{th} \quad (4)$$

그러므로, 문턱전류 이상에서의  $dV/dI$ 는  $R_s$  값으로 상수값을 갖게된다. 그림 3에서 문턱전류 근처에서의 나타나는  $I \cdot dV/dI$ 의 불연속 지점의 차이는 식 (3)과 식 (4)의 미분꼴을 통해서 볼 때, 문턱 이전과 이후에서의  $1/\beta + I \cdot R_s$ 와  $I \cdot R_s$ 의 차이이다. 즉, 문턱 전류이전과 이후의  $I \cdot dV/dI - I$  관계식에서, 그 기

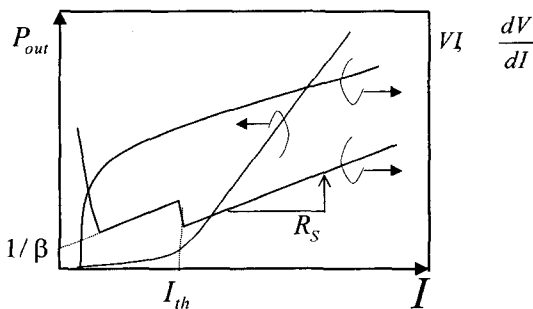


그림 3. 이종 접합구조 레이저의 주입 전류(I)에 따른 광출력( $P_{out}$ ), 전압(V) 및 미분( $I \cdot dV/dI$ ) 특성 곡선.

울기를 통해 접합면 근처의 직렬저항을 관찰할 수 있게 된다. 이때, 전류 차단층으로의 누수 전류를 고려해준다면, 직렬저항에 병렬로 연결된 저항이 작아지므로 기울기가 완만하게 되는 것을 예측할 수 있다. 다양한 전류 차단층에서의 이러한 기생 저항에 대한 소신호 응답 분석이 다음절에서 보여지고 있다.

3.2. AC 기생 성분 해석 방법

소자내의 기생 용량은 서로 다른 두 바이어스에서의 소신호 전달 응답곡선의 차감(subtraction)을 통해 추출할 수 있다.<sup>19)</sup> 직접 변조된 광원 소자의 일반적인 소신호 응답에 대한 모델은 지금까지 알려진 바에 의하면 크게 식 (5)와 같이 네개의 항으로 구분할 수 있다.

- $H_I(f)$ : 비울 방정식으로부터 유도되는 진성영역의 소신호 응답<sup>18)</sup>
- $H_{RC}(f)$ : 기생 직렬 저항과 차단 구조에서의 병렬 저항 및 정전용량<sup>31)</sup>
- $H_{SCH}(f)$ : SCH 영역에서의 캐리어 전달 지연으로 인한 효과<sup>18)</sup>
- $H_D(f)$ : detector 및 실험장비 상의 추가적인 효과

$$H(f) = 10 \log \left( \frac{f_r^4}{(f_r^2 - f^2)^2 + (\Gamma/2\pi)^2 \cdot f^2} \right) + 10 \log \left( \frac{1}{1 + (f/f_{RC})^2} \right) + 10 \log \left( \frac{1}{1 + (f/f_{SCH})^2} \right) + X = H_I(f) + H_{RC}(f) + H_{SCH}(f) + H_D(f) \quad (5)$$

식 (5)에서 사용된 상수,  $f_r, \Gamma, f_{RC}, f_{SCH}$ 는 각각, 공진 주파수, 감쇄 상수, 기생 주파수(parasitic roll-off frequency), 캐리어 전달 주파수(transport roll-off frequency)이고, detector에 의한 손실을 ‘X’로 표시하였다.  $H_{SCH}(f)$ 은 온도에 대해서는 민감하게 반응하지만,<sup>14)</sup>  $H_D(f)$ 과 함께, 주입되는 전류에 따라서 변하지 않는다는 가정을 하고,  $H_{RC}(f)$ 의 경우는 주입 전류에 따라서 RC 효과가 변하기는 하지만 그 정도가 작다고 가정하였다. 이러한 가정을 인정할 때, 바이어스에 따라 다르게 나타나는 소신호 응답의 차를 통해  $H_{RC}(f), H_{SCH}(f), H_D(f)$ 항이 모두 제거될 수 있으므로, 이를 통해 진성 응답을 얻을 수 있다. 바이어스 1과 바이어스 2의 소신호 응답 특성을 각각  $H_1(f), H_2(f)$ 라고 두면, 두 응답식의 차등을 통해 다음의 식 (6)이 얻어진다.

$$H_2(f) - H_1(f) = 10 \log \left( \frac{f_{r2}^4}{(f_{r2}^2 - f^2)^2 + (\Gamma_2/2\pi)^2 \cdot f^2} \right) - 10 \log \left( \frac{f_{r1}^4}{(f_{r1}^2 - f^2)^2 + (\Gamma_1/2\pi)^2 \cdot f^2} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서  $f_{r1}, f_{r2}, \Gamma_1, \Gamma_2$ 는 각각 바이어스 1과 바이어스 2일 때의 공진 주파수와 감쇄 계수이다. 즉, 실험으로부터 얻어진 두 바이어스에 대한 소신호 응답곡선의 차등값을 식 (6)으로 fitting 하는 것이 가능하고,<sup>19)</sup> 그로부터  $f_{r1}, f_{r2}, \Gamma_1, \Gamma_2$  값들이 얻어진다. 앞절에서 언급된 ‘inin’ 구조에 대한 예제를 그림 4에 보였다. Fitting으로 얻은 매개변수,  $f_{r1}, f_{r2}, \Gamma_1, \Gamma_2$ 를 통해

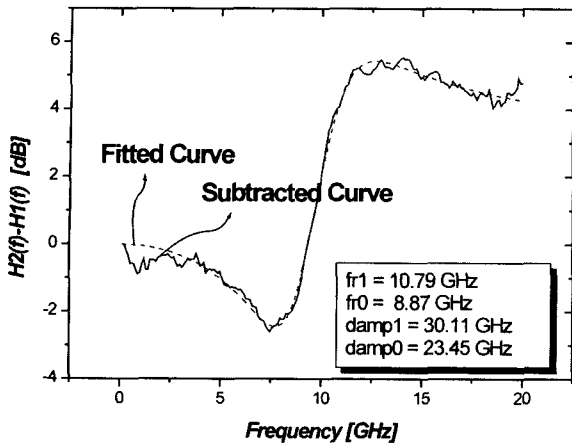


그림 4. 주입 전류가 다른 두 소신호 응답의 차감 곡선과 fitting 곡선.

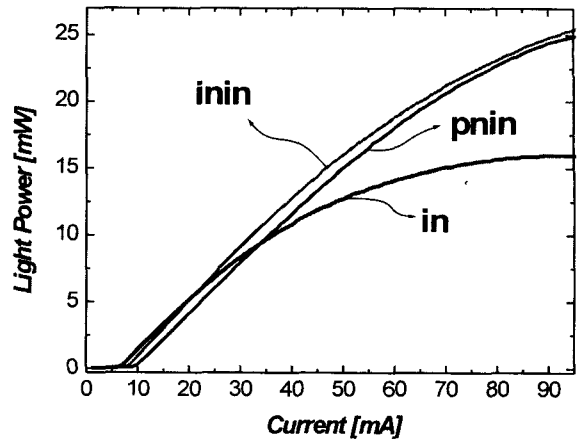


그림 6. 'in', 'inin', 'pnin' 각 구조에 대한 전류-광출력 특성 곡선.

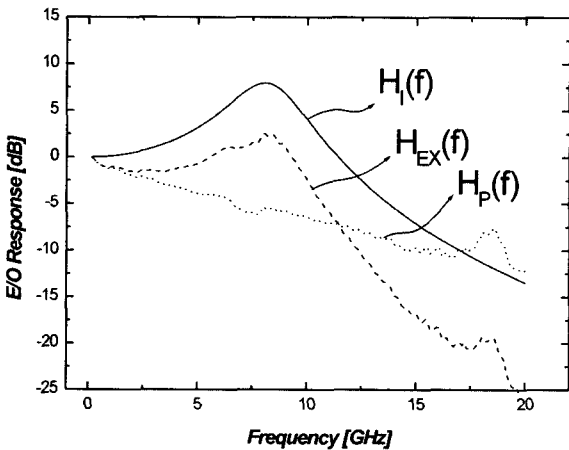


그림 5. 측정을 통해 얻은 소자의 소신호 응답( $H_{EX}$ ), fitting으로 얻은 진성 응답( $H_1$ ), 차감을 통해 얻은 기생성분 응답( $H_P$ )의 비교 곡선.

게 나타났는데, 그 이유는 mesa 에칭이후 p-InP 재성장시 Zn 도핑이 활성층에 영향을 주어 내부 손실(internal loss)이 증가된 것으로 추측한다. 그림 7은 각 구조의 광출력에 따른 변조 특성의 변화곡선이다. 일반적으로 변조 공진 주파수는 활성층 내 광자 밀도의 제곱근에 비례( $f_r \propto \sqrt{P}$ ; P는 광자 밀도)하는데, 각 구조가 동일한 활성층을 가지므로, 광 출력에 따른 공진 주파수의 관계는 세 구조에 대해 거의 일치함을 볼 수 있었다. 그러나, 기생 성분에 의해 결정되는 3 dB 대역폭은 'in', 'inin' 구조에 대해 5 mW에서 각각 10.5, 10.1 GHz를 보이고 있지만, 'pnin' 구조에 대해서는 7 mW에서 3.6 GHz로 아주 낮게 나타났다. 그림 7(b)에서, 약 6~8 GHz 사이의 dip이 발생하는 것은 아마도 칩과 SiOB의 접합과정에서 발생한 전기적 기생 효과로 추정된다. 그러나 이로 인해 -3 dB 대역폭은 제한되지 않은 결과를 보여주고 있다. 위의 세 구조에 대한 구체적인 기생성분 추출은 다음절에 제시되었다.

서 소신호 응답의 진성 부분을 모델링 할 수 있다. 측정을 통해서 얻은 소신호 응답을  $H_{EX}(f)$ 라고 하고, 진성 응답을  $H_1(f)$ 라 하면  $H_P(f) = H_{EX}(f) - H_1(f) = H_{RC}(f) + H_{SCH}(f) + H_D(f)$ 를 얻을 수 있는데, 이때의  $H_P(f)$ 는 앞에서 언급된 기생 RC, 캐리어의 전달 지연으로 인한 성분, 그리고 detector 손실로 인한 성분만을 나타내는 소신호 응답이다.  $H_{EX}(f)$ ,  $H_1(f)$ ,  $H_P(f)$ 에 대한 각각의 응답에 대한 예가 그림 5에 나타나 있다.

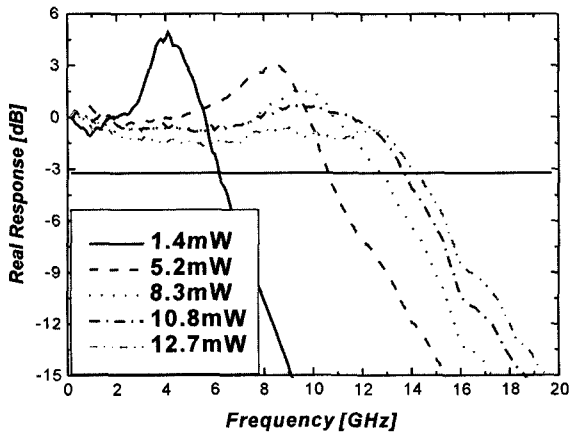
### III. 특성 비교 결과

#### 3.1. 광 출력 특성 측정결과

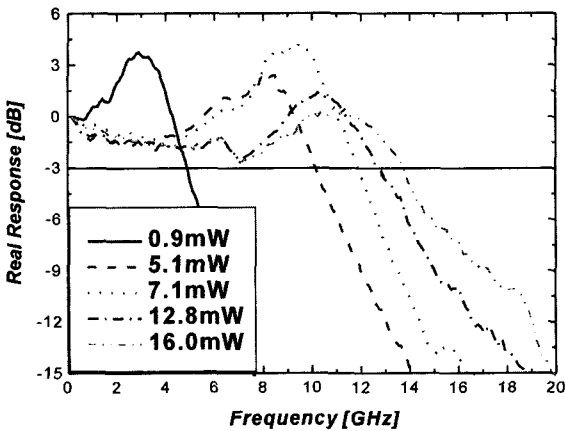
세가지의 전류 차단 구조에 대한 광 출력특성을 살펴 보기 위해 실온에서 DC와 AC 측정을 하였다. 그림 6은 주입 전류 (mA)에 따른 광 출력(mW)이다. 'in' 구조는 문턱 전류가 약 6.9 mA로 가장 작게 나타났지만, 전류주입이 증가 함에 따라 광 출력 효율이 급격히 떨어짐을 볼 수 있고, 'inin', 'pnin' 구조에 대해서는 광 출력 특성이 안정되었음을 관찰할 수 있다. 'pnin' 구조에 대해서는 문턱 전류가 10.1 mA로 가장 크

#### 3.2. 기생성분 해석 결과

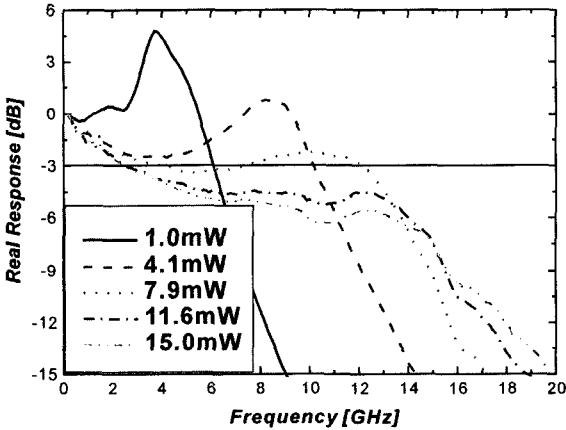
전류-전압 미분 특성곡선 방법을 세가지의 전류차단구조에 대해서 적용하여 보았다. 그림 8은 각 구조에 대한 칩의 기생 저항성분을 간접적으로 보여준다. 약 10 mA 근처에서 불연속 점은 문턱 전류 값을 보여주고 있고, 각 점에서의 기울기는 기생 저항성분을 의미한다. 문턱전류 이전에서의 저항성분은 'in' 구조에 대해서  $3.5\Omega$  정도로 가장 작았고, 나머지는  $5.5\Omega$  정도였다. 이상성 계수,  $\eta$ 는 대략 1.53~1.65정도이다. 문턱 전류 이상에서, 전류 주입량이 많아짐에 따라 'pnin' → 'inin' → 'in' 순으로 그 경사가 완만해지는데, 기생저항이 줄어들고, 누설전류가 커진다는 것을 의미한다. 활성 영역의 아래 위층을 이루고 있는 SCH 층에서의 기생 직렬저항은 유지되면서, 활성 영역 주변으로 누설되는 전류로 인해 병렬 저항이 작아진다(누설 전류가 없을 때는 병렬 저항이 무한대이다). 즉, 두 저항의 병렬 저항이 칩에 걸리게 되므로, 전체 저항은 그 크기가 줄어들게 된다. 'pnin' 구조는 주입 전류 방향에 대해서 pn 역바이어스가 걸리게 됨으로, 누설전류가 상대적으로 가장 작고, 병렬 저항성분이 가장 커서 전체 등가 저항 성분은 가장 작다. 그러나, pn 접합의 역바이어스는 큰 정전용량 성분을 유



(a) 'in' 구조



(b) 'inin' 구조



(c) 'pnin' 구조

그림 7. 'in', 'inin', 'pnin' 각 구조에 대한 소신호 E/O 응답곡선. (a) 'in' 구조. (b) 'inin' 구조. (c) 'pnin' 구조.

도하게 되어, 소신호 응답 특성에서 불리해질 것으로 예측된다. 즉, 'in' → 'inin' → 'pnin' 구조로 갈수록 기생 저항성분이 커지므로, 누설 전류가 감소하여 정적특성 성능향상을 확인하였고, 반면, 기생 정전 용량의 증가로 인한 소신호 응답 특성은 더 불리해질 것을 예측할 수 있다.

그림 9은 차감 방법으로부터 얻은 구조별 기생 성분을 나타낸 것이다. 각각의 구조에 대해서 얻은 기생 성분을 추출하였

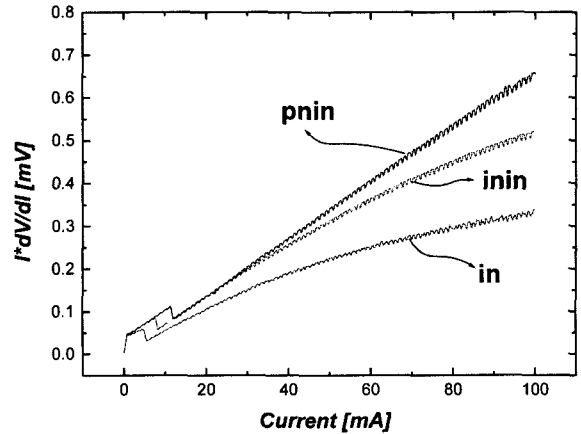


그림 8. 'in', 'inin', 'pnin' 각 구조에 대한 전류 전압 미분 특성 곡선.

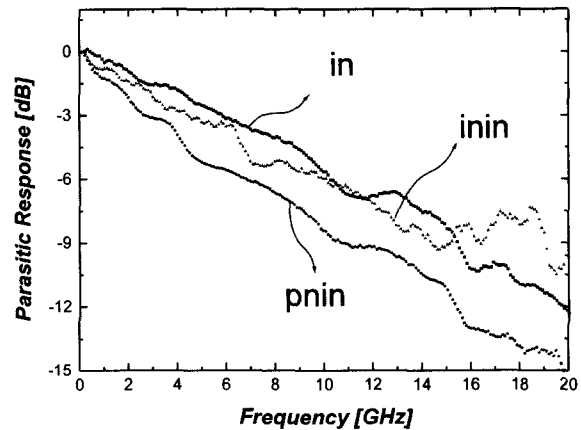


그림 9. 'in', 'inin', 'pnin' 각 구조에 대해 소신호 응답 차감법으로 얻은 기생성분 특성 곡선.

고, 각 구조에 대해 이를 반복하였다. 각각의 곡선은 기생 RC 뿐만 아니라, 캐리어 전달 지연효과, 그리고 detector 손실을 모두 포함하고 있는 응답이지만, 연구 대상으로 삼은 세 종류의 칩은 서로 다른 전류 차단구조를 사용한 것 이외에는 모두 같은 구조로 되어 있기 때문에 각각의 구조별 특성 차이는 순수한 기생 RC 효과 차이라고 볼 수 있다. 소신호 응답 특성에서의 기생성분이 10 GHz 근처에서 'pnin' 구조에 비해 'in', 'inin' 구조가 약 2.5 dB 정도의 양호한 기생 손실차를 보여주고 있고, 15GHz 이하에서 'in' 구조에 대해서 가장 작게, 'pnin' 구조에 대해서 가장 크게 나타났다. 즉, 소신호 응답의 저손실 응답측면에서 'pnin' → 'inin' → 'in' 순으로 더 유리해진다. 특히, 저주파수 영역에서 나타나는 roll-off 현상에 대해 'pnin' 구조는 아주 치명적인 것을 관찰할 수 있다.

#### IV. 결 론

직접 변조형 반도체 레이저 다이오드의 소신호 응답 대역폭은 활성 영역에 의해 결정되지만, 전류차단구조에서 발생하는 누설전류와 기생성분에 의해서 크게 제한된다. 이에 기생성분과 누설 전류를 최소화하여 정적/동적 성능에서 동시에 만족되

는, 효과적인 전류차단구조를 제안하였다. 정적 특성 향상을 위하여서는 'in' → 'inin' → 'pnin'형의 차단구조가 더 유리하게 되고, 동적 특성 향상을 위하여서는 'pnin' → 'inin' → 'in'으로 더 유리하게 된다. 동적 특성만을 위해서는 기생 성분이 가장 작게 나타나는 'in' 구조가 유리하지만, 일반적으로, 온도의 영향으로 전류-광출력 특성에서의 누설 전류가 민감하게 반응하므로, 높은 광출력을 유지하기 위해서는 'inin' 구조를 사용하여 정적 및 동적 특성에 대한 상보적 관계가 필요하게 된다.

### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 교내 지원금에 의하여 수행된 것임.

### 참고문헌

- [1] N. K. Dutta, D. P. Wilt, and R. J. Nelson, "Analysis of leakage currents in 1.3 μm InGaAsP real index-guided lasers," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 2, pp. 201-208, June 1984.
- [2] S. Asada, S. Sugou, K. I. Kasahara, and S. Kumashiro, "Analysis of leakage current in buried heterostructure lasers with semiinsulating blocking layers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 25, pp. 1362-1368, 1989.
- [3] T. Keating, X. Jin, S. L. Chuang, and K. Hess, "Temperature dependence of electrical and optical modulation responses of quantum-well lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 35, pp. 1526-1534, 1999.
- [4] Y. Yoshida, H. Watanabe, K. Shibata, A. Takemoto, and H. Higuichi, "Theoretical and experimental analysis of leakage current in InGaAsP BH lasers with p-n-p-n current blocking lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 35, no. 9, Sep. 1999.
- [5] R. Olshansky, P. Hill, V. Lanzisera, and W. Powazinik, "Frequency response of 1.3 μm InGaAsP high speed semiconductor lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-23, pp. 1410-1418, 1987.
- [6] H. Hirao, M. S. Tsuji, K. Mizuishi, A. Doi, and M. Nakamura, "Long wavelength InGaAsP/InP lasers for optical fiber communication systems," *J. Opt. Commun.*, vol.1, pp. 10-14, 1980.
- [7] U. Koren, J. L. Zilko, B. I. Miller, G. Eisenstein, and P. K. Tien, "Planar BH InGaAsP/InP lasers with semi-insulating InP blocking layers grown by MOCVD," in *Tech. Dig. 10th IEEE Int. Semiconductor Laser Conf.* (Kanazawa, Japan), pp. 186-187, 1986.
- [8] R. Nagarajan, M. Ishikawa, T. Fukushhima, R. S. Geels, and J. E. Bowers, "High speed quantum well lasers and carrier transport effects," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 28, pp. 1990-2008, Oct. 1992.
- [9] P. A. Morton, T. Tanbun-Ek, R. A. Logan, A. M. Sergent, P. F. Sciortino, Jr., and D. L. Coblentz, "Frequency response subtraction for simple measurement of intrinsic laser dynamic properties," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 133-136, 1992.

## The structural dependence of current blocking layers on the static and dynamic performances in a direct modulated semiconductor laser

Dongchurl Kim, Jongin Shim, Munkyu Park\*, Joongkoo Kang\*,

Dongsoo Bang\*, Donghoon Jang\*, and Yungseon Eo

Dept. of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang Univ.,

\*Samsung Electronics

1271 Sa-Idong Ansan, Kyunggi-do 425-791, KOREA

(Received April 7, 2003, Revised manuscript June 4, 2003)

In a direct modulated semiconductor laser diode, the structural dependence of current blocking layers was studied in view of the leakage current reduction and the bandwidth expansion. To analyze the leakage current and the parasitic effects, the current-voltage derivation characteristics and the subtraction method were used, respectively. It was shown that the 'inin' type current blocking structure might be the best choice for the purpose of the static and dynamic characteristics.

OCIS Codes : 140.5960, 060.4080, 140.3490.