

780nm Monolithic 4-Beam 레이저 다이오드의 Droop 특성 개선

홍헌권, 김지호, 자유상, 성영운, 이상돈
(주) 큐에스아이

The Improvement of Droop Characteristic of 780nm Monolithic 4-Beam Laser Diode

Hyun Kwon Hong, Ji ho Kim, You Sang Ji, Yeong Un Seong, Sang Don Lee
Quantum Semiconductor International Co., Ltd.

Abstract : When the laser diode is operated with continuous current, the light intensity from the laser diode decreases with time due to the temperature rise in the active layer. The phenomena, which is often called as DROOP, should be minimized in order to be used as a light source for the laser beam printer. We experimentally examined the influences of the laser parameters such as threshold current, differential quantum efficiency on droop. It was found that decreasing the differential quantum efficiency of the laser diode is the effective way to minimize droop.

Key Words : Droop, Semiconductor Laser Diode

1. 서론

레이저 다이오드/레이저프린터와 관계된 일반적인 동작원리는 어떤 상에 대한 정보를 입력 받아 레이저 다이오드에 펄스 신호를 인가하여 대전된 감광체에 주사함으로써 정전기 상을 형성시켜 토너가 그 부분에 달라붙게 하여 인쇄하는 것이다. 수십 μ s의 폭을 갖는 펄스 신호가 레이저 다이오드에 인가될 경우에 접합온도 (junction temperature)가 증가하여 문턱전류를 증가시키기 때문에 레이저 다이오드의 광출력 변화의 원인이 된다. 이 광출력의 변화를 Droop 현상이라고 하며 레이저 프린터 동작시 불규칙적인 상을 형성시키게 된다 [1]. 이와 같은 광출력의 변화에 의한 불규칙적인 상을 제거하기 위하여 레이저 다이오드를 구동시키는 회로뿐만 아니라 레이저 다이오드의 Droop를 최소화해야 한다 [1~3]. 본 논문에서는 후자에 대해 설명하고자 한다.

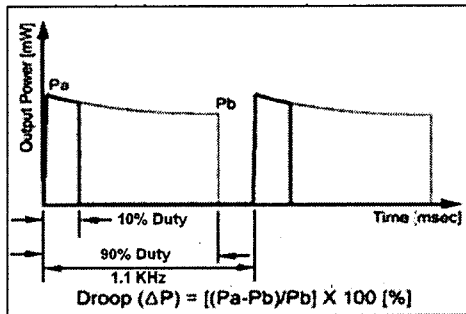


그림 1. 일정한 전류에 의해 동작된 레이저 다이오드의 광출력 변화.

레이저 다이오드에서 레이징되는 광출력의 변화 (ΔP)는 그림 1과 식 (1)에 나타난 것처럼 펄스 신호의 초기값의 광출력 (P_a)과 펄스 신호의 최종값의 광출력 (P_b)의 변

화이다.

$$\Delta P = \{(P_a - P_b) / P_b\} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

위 식에서 광출력의 변화는 활성층의 온도 상승 및 문턱전류의 증가에 의해 일어난다고 가정하였을 때 광출력 P_a 와 P_b 는 식(2)와 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$P_a = \eta_f \times (I_{op} - I_{th}) \quad \text{식 (2)}$$

$$P_b = \eta_f \times \{(I_{op} - I_{th} \exp(\Delta T / T))\} \quad \text{식 (3)}$$

여기서, η_f 는 미분양자효율이고, I_{th} 와 I_{op} 는 각각 문턱전류와 동작전류이다. 그리고, ΔT 는 활성층의 온도 변화이고, T_0 는 특성온도이다.

식 (2)와 (3)을 식 (1)에 대입하면 아래와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\Delta P = I_{th} \times \{\exp(\Delta T / T_0) - 1\} / \{I_{op} - I_{th} \exp(\Delta T / T_0)\} \quad \text{식 (4)}$$

위 식에서 $\Delta T < T_0$ 일 경우에 식 (4)는 아래와 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$\Delta P = \left\{ 1 / \left(\frac{I_{op}}{I_{th}} - 1 \right) \right\} \times \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{\Delta T}{T_0} \times I_{th} \times \frac{\eta_f}{P} \quad \text{식 (5)}$$

여기서, P 는 사용하고자 하는 광출력이다.

따라서, 레이저 다이오드의 광출력 변화를 줄이기 위해서는 식 (5)에서 처럼 문턱전류 및 미분양자효율을 감소시키거나 특성온도를 증가시키면 얻을 수 있다. 본 논문에서는 레이저 다이오드의 양 단면에 반사율을 조절하여 문턱전류 및 미분 양자효율의 변화에 대한 Droop 개선효과에 대해 논의하고자 한다.

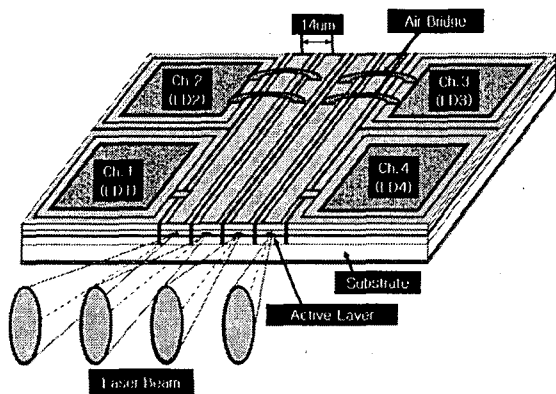


그림 2. 4-Beam 레이저 다이오드의 입체도.

2. 4-Beam 레이저 다이오드의 제작 방법

그림 2은 4-Beam 레이저 다이오드의 입체도를 나타낸 것이다. 현재 양산되고 있는 것은 780 nm 파장대이며 그 제작 방법에 대해서 간단히 기술하고, 상세 정보는 참고 문헌 [4]를 참조하기 바란다.

$Al_xGa_{(1-x)}As$ Quantum Well (QW)를 갖는 780 nm Structure를 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)에 의해서 총 두께가 약 3.0 μm 가 되도록 성장시킨다. 성장된 박막의 순서는 크게 n형 클래드 층과 활성층 그리고 p형 클래드 층으로 구분되어 성장된다. 이 p형 클래드 층위에 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 사용하여 SiO_2 박막을 증착시킨 후 포토리소그래픽과 식각 기술을 사용하여 리지(Ridge)를 형성한 후 리지 양 옆에 전류주입을 막는 전류제한층을 성장시킨다. 그리고, 리지 위에 있는 SiO_2 를 제거한 후 p형 GaAs 층을 성장시킨다.

빔 (Beam) 간의 거리가 약 14 μm 로 작기 때문에 2 μm 폭으로 빔간의 트렌치를 만들어 한 칩 내에 4개의 빔이 독립적으로 구동될 수 있도록 하고, 그림 2에서 나타낸 것처럼 Air Bridge 기술을 이용하여 LD2와 LD3의 전극을 연결시킨다. 여기에서 사용된 전극의 물질은 p형 전극으로 Ti/Pt/Au이며 n형 전극으로 AuGe/Ni/Au를 사용하였다.

3. 측정 및 결과

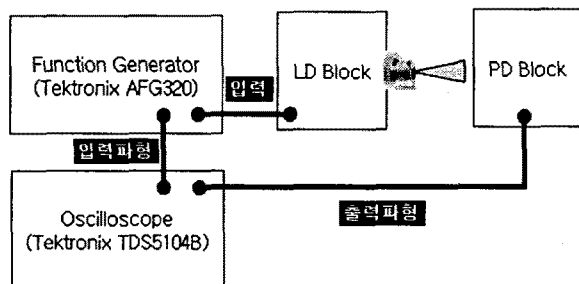
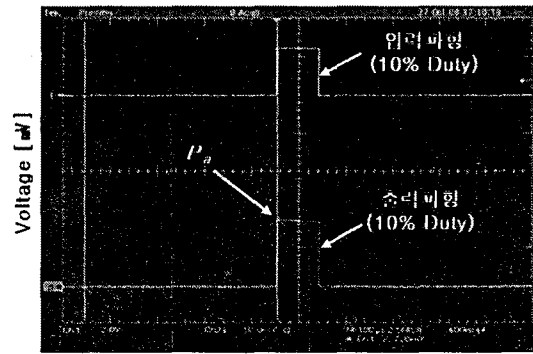


그림 3. Droop 측정 System 개념도.

Droop 특성에 의한 광출력의 변화를 확인하기 위해 그림 1과 같이 1.1 μm 에 대한 10 % duty cycle일 때의 광

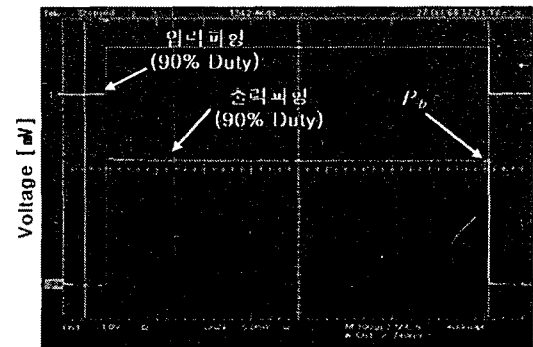
출력 (P_a)과 90 % duty cycle일 때의 광출력 (P_b)를 측정하여 식 (1)에 의해서 계산하였다.

측정방법은 그림 3에 나타난 측정시스템의 개념도와 같이 Function Generator (Tektronix AFG320)를 사용하여 레이저 다이오드에 전원을 인가한 후 광출력 변화를 포토다이오드로 검출하였다. 그 검출된 파형을 오실로스코프 (Tektronix TDS5104B)상에 나타내어 그림 4와 같이 P_a 와 P_b 를 측정하였다.



Time [ns]

(a)



Time [ns]

(b)

그림 4. (a) 10 % duty cycle일때의 광출력 (P_a)와 (b) 90 % duty cycle일때의 광출력 (P_b) 파형.

표 1. 시료 종류에 대한 전기적 및 Droop 특성.

공진길이 [μm]	반사율 AR[%]/HR[%]	I_m [mA]	η_f [W/A]	Droop [%] (25 $^{\circ}C$)
300	30 / 80	15.7	0.92	9.9
350	30 / 80	18.1	0.83	14.4
350	30 / 90	15.1	0.85	7.4
350	50 / 80	15.8	0.57	7.6

* AR : Anti-Reflectivity, HR : High Reflectivity

본 논문에서 준비한 시료는 표 1에서 처럼 동일한 물질로 성장된 $Al_xGa_{(1-x)}As$ QW를 갖는 780 nm 소자를 사용하여 공진 길이 (Cavity Length)와 양 단면의 반사율을 조절하였다. 즉, 양 단면의 반사율을 30%/80%으로 일정하게 하고, 공진길이가 각각 300 μm 와 350 μm 인 소자에 대하여 Droop의 변화를 확인하였다. 그리고, 공진 길이를 350 μm

로 일정하게 하고 양 단면의 AR/HR 반사율을 30%/80%과 30%/90% 그리고 50%/80%으로 조절하여 Droop의 변화를 확인하였다. 그리고, 사용한 온도는 25 ℃와 60 ℃이고, 사용한 광출력은 1 mW로 고정하여 측정하였다. 표 1과 같이 정리된 결과처럼 양 단면의 반사율을 고정하고, 공진 길이를 증가시켰을 경우에 미분양자효율이 감소하는 비율보다 문턱전류가 증가하는 비율이 크기 때문에 Droop 개선 효과는 없었지만 공진 길이를 350 μm로 유지하고, 양 단면의 반사율을 조절하였을 경우에는 Droop의 개선 효과가 있었다. 따라서, 효과적으로 레이저 다이오드의 Droop를 개선하기 위해서는 공진 길이를 줄이거나 양 단면의 반사율을 조절하는 것이 효과적이지만 공진 길이를 줄이는 것은 레이저 다이오드의 신뢰성에 영향을 줄 수 있으며 양 단면의 반사율을 변화시키는 것은 그림 5에서 처럼 COD (Catastrophic Optical Damage)에 영향을 주기 때문에 주의해야 한다.

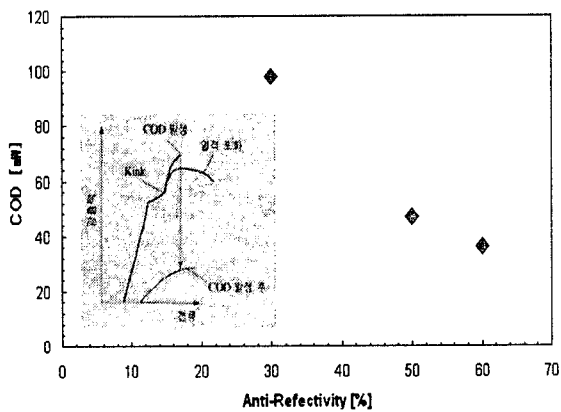


그림 5. AR 반사율 변화에 대한 COD 변화 (HR의 반사율 : 80%).

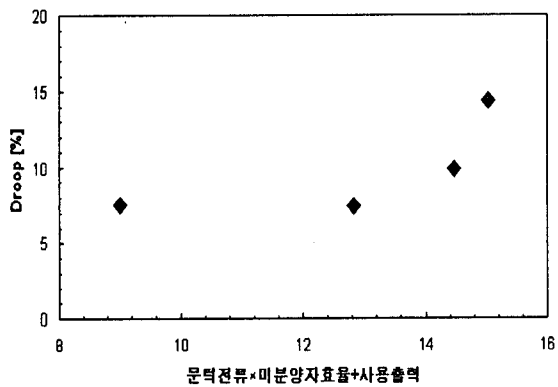


그림 6. $I_{th} \eta_d / P$ 에 대한 Droop 변화.

그림 6은 문턱전류와 미분양자효율을 곱한 것에 대한 Droop 특성을 나타낸 것으로 식 (5)와 같이 문턱전류 및 미분양자효율을 감소시킬 경우에 레이저 다이오드의 Droop이 개선되는 것을 확인하였다.

4. 결론

레이저 다이오드의 Droop 특성을 개선하기 위해서는 문턱전류와 미분양자효율을 감소시켜야만 접합 온도 변화에 대해 민감성이 떨어지게 된다. 문턱전류와 미분양자효율을 감소시키기 위해서는 공진 길이를 감소시키거나 레이저 다이오드의 양 단면의 반사율을 조절하여 얻을 수 있으며 본 실험에서는 동일 공진 길이에 대하여 양 단면의 반사율을 50%/80%으로 제작된 소자에서 광출력의 변화가 제일 작은 것이 확인되었다.

감사의 글

본 연구의 도움을 준 (주)큐에스아이의 직원분들께 감사 표합니다.

참고 문헌

- [1] Shinichi Nakatsuka, Junshin Sakamoto, Hiroshi Inenaga, and Saito, "Laser exposing system and laser printer using the same", US Patent Application Publication, US 2005/0169329, 2005.
- [2] Harumi Nishiguchi and Yuji ohkura, "Semiconductor laser diode", US Patent Application Publication, US 6154476, 2000.
- [3] Geels, R.S., Welch, D.F., Scifres, D.R., Bour, D.P., Treat, D.W., and Bringans, R.D., "Dual spot visible laser diodes", Electronics Letters, Vol. 28, P. 1460, 1992.
- [4] 황선교와 송대권, "다중 빔 레이저 다이오드 및 그 제조 방법", 대한민국특허청, 10-0861238, 2008.