

논문 2020-2-13 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2020.12.13>

결정 벽개면을 갖는 DFB 레이저의 이득과 주파수 분석

이창석*, 권기영**†, 가장근**, 조현묵**

Analysis of Gain and Frequency in a DFB laser with Cleaved Facets

Chang-Seok Lee*, Kee-Young Kwon**†, Jang-Geun Ki**, Hyun-Mook Cho**

요 약

본 논문에서는 벽개된 두 거울 면을 갖는, 1.55 μm 파장인 DFB 레이저에서 이득 그레이팅과 굴절률 그레이팅이 함께 존재할 때, 편위상 ρ_l 의 위상=0으로 고정시키고, ρ_r 의 위상을 $-\pi/2, \pi, \pi/2, 0$ 인 경우로 변화시킬 때, 발진 주파수와 발진 이득의 변화를 이론적으로 해석하였다. $\delta L < 0$ 인 경우, (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 인 경우이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다. $\delta L > 0$ 인 경우, (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다.

Abstract

In this paper, when both the refractive index grating and the gain grating exist in a 1.55 μm DFB laser with two cleaved mirror facets, when the phase of ρ_l is fixed to 0 and the phase of ρ_r is changed to $-\pi/2, \pi, \pi/2, 0$, the change in frequency and oscillation gain was theoretically analyzed. In the case of $\delta L < 0$, the oscillation gain required for lasing is the lowest and the most stable frequency operation is obtained in the case of (ρ_l phase=0, ρ_r phase=0) and $\kappa L = 10$, when κL is varied from 0.1 to 10. In the case of $\delta L > 0$, when (ρ_l phase=0, ρ_r phase= π) and $\kappa L = 10$, the oscillation gain required for lasing is the lowest and the difference between the oscillation gains of the higher-order modes is large so that the most stable frequency operation is obtained.

한글키워드 : LD, DFB LD, 굴절률 격자, 이득 격자, 발진 주파수, 격자 위상

keywords : LD, DFB LD, Index Grating, Gain Grating, Lasing Frequency, Grating Phase

* 한밭대학교 정보통신공학과

** 공주대학교 전기전자제어공학부

† 교신저자: 권기영(email: kky@kongju.ac.kr)

접수일자: 2020.12.06. 심사완료: 2020.12.11.

게재확정: 2020.12.21.

1. 서론

나날이 기술이 발달하면서 다루는 정보량도 폭발적으로 증가하고 있고, 정보 이동속도 또한

급격히 빨라지고 있다. 1984년부터 제1세대 이동통신이 시작된 이후 계속 진화하여 2010년대에 제4세대를 거쳐 2020년대에는 제5세대 이동통신의 상용화가 시작되었다. 사물인터넷 단말기가 폭발적으로 증가하고 있을 뿐 아니라 스마트 기기가 폭증하고 있는 등 초고속 대용량의 정보 전달 필요성은 날로 증가하고 있다. 이와 같은 제4차 산업혁명의 환경적 변화는 유선 및 무선 네트워크 인프라를 구축하고 정보통신 소자와 설비를 초고속 광대역화해야만 하는 필요성을 가속화시키고 있다[1].

대역폭이 넓은 광통신 시스템에 활용되는 레이저 다이오드의 속도를 증가시키기 위해서는, 주파수 선별성이 우수하고, 동시에 안정적인 주파수 동작을 해야 할 뿐만 아니라 고주파로 변조를 시키더라도 동작하는 주파수에서의 변동이 없어야 한다. 이러한 특성을 보여주는 적합한 광원이 DFB(Distributed Feedback) 레이저이며, 따라서 DFB LD에 대한 관심이 날로 증가하고 있다 [2]~[6]. DFB LD는 클래드층에 혹은 활성층에 그레이팅 구조를 만들어 주고, 그 그레이팅에서 발생하는 브래그(Bragg) 산란을 이용해 광 반사가 일어나도록 한다. 그런데 굴절률 그레이팅 결합 DFB LD는 발진 파장에서 축퇴 현상이 발생하고, 또 벽개된 거울 반사면에서의 그레이팅 위상과 거울 반사면의 반사율에 따라 민감한 특성을 보이는 것이 문제이다. 이 문제를 개선하기 위해 반사를 방지하기 위한 코팅을 하고, 1/4 파장 만큼 천이된 위상을 갖는 DFB LD가 제안되었으며, 이 DFB LD는 낮은 잔류 반사율을 가져야 하고 공간적 홀 버닝(spatial hole burning) 현상이 일어나서 이득에서 비선형성이 유발되는 문제가 있다[7]~[10].

본 논문에서는 벽개된 두 거울 면을 갖는, 1.55um 파장을 갖는 DFB LD에서 이득 그레이팅과 굴절률 그레이팅이 함께 존재할 때, 편의상

ρ_l 의 위상=0으로 고정시키고, ρ_r 의 위상을 $-\pi/2, \pi, \pi/2, 0$ 인 경우로 변화시킬 때, 발진 주파수와 발진 이득의 변화를 이론적으로 해석한다. 2장에서 해석에 사용된 이론적인 배경을 기술하고, 3장에서는 $\delta L < 0$ 인 경우와 $\delta L > 0$ 인 경우로 나누어, DFB LD의 발진 모드 각각에 대한 이득과 발진 주파수를 구하고, 가장 낮은 문턱 전류 및 주파수 안정성에 대하여 논의하겠다.

2. 이론적 배경

클래드층에 혹은 활성층에 굴절률 그레이팅과 이득 그레이팅이 모두 존재하는 경우를 고려한다. 이 굴절률 그레이팅과 이득 그레이팅은 다음 식과 같이 표현할 수 있다[11].

$$\begin{aligned} n(z) &= n + (\Delta n) \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda} + \Omega\right) \\ \alpha(z) &= \alpha + (\Delta\alpha) \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda} + \Omega\right) \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 $n(z)$ 는 굴절률을 나타내고, $\alpha(z)$ 는 이득을 나타낸다. z 는 장축 방향의 좌표이고, 한 쪽 끝이 $-\frac{L'}{2}$ 이며 다른 쪽 끝은 $\frac{L''}{2}$ 이다.

이때 만족되는 파동 방정식은 식(2)와 같다.

$$\nabla^2 E(z,t) + k^2(z)E(z,t) = 0 \quad (2)$$

식 (2)의 해는 $E(z,t) = E(z)e^{j\omega t}$ 와 같은 형태로 기술할 수 있고, 다음처럼 표현할 수 있다.

$$k^2(z) \approx \beta^2 + j2\alpha\beta + 4\kappa\beta \cos(2\beta_0 z + \Omega) \quad (3)$$

여기서 α 는 LD가 발진하기 위한 문턱에서 갖는 순 이득이고, 다음 관계가 성립한다.

$$\beta_o = \frac{\pi}{A}, \quad \beta = \frac{\omega}{c} \quad (4)$$

그리고 다음 식이 성립한다.

$$\kappa = \left(\frac{\beta}{2}\right)\left(\frac{\Delta n}{n}\right) + j\frac{\Delta\alpha}{2} \quad (5)$$

식 (4)로부터 β 를 얻은 후에 발진 주파수 ω 를 계산할 수 있다.

일반성을 잃지 않으면서 $E(z)$ 는 다음처럼 쓸 수 있다.

$$E(z) = R(z)e^{-j\beta_o z} + S(z)e^{j\beta_o z} \quad (6)$$

여기서 (+)z 방향으로 전파하는 파가 $R(z)$ 이고, (-)z 방향으로 전파하는 파가 $S(z)$ 이다. 식 (6)과 (2)에서 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} -R' + (\alpha - j\delta)R &= j\kappa e^{-j\Omega} S \\ S' + (\alpha - j\delta)S &= j\kappa e^{j\Omega} R \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\delta = \beta - \beta_o$ 고, $|\delta| \ll \beta$ 를 가정하였고, $e^{\pm j\beta_o z}$ 이상의 파는 생략했다.

식 (7)은 다음과 같은 해를 갖는다.

$$\begin{aligned} R(z) &= R_1 e^{\gamma z} + R_2 e^{-\gamma z} \\ S(z) &= S_1 e^{\gamma z} + S_2 e^{-\gamma z} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 R_1, R_2, S_1, S_2 는 상수이다.

식 (8)을 식 (7)에 대입하고 정리하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \hat{\Gamma}R_1 &= j\kappa e^{-j\Omega} S_1 \\ \Gamma R_2 &= j\kappa e^{-j\Omega} S_2 \\ \Gamma S_1 &= j\kappa e^{j\Omega} R_1 \\ \hat{\Gamma}S_2 &= j\kappa e^{j\Omega} R_2 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 Γ 와 $\hat{\Gamma}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Gamma &= \gamma + \alpha - j\delta \\ \hat{\Gamma} &= -\gamma + \alpha - j\delta \end{aligned}$$

식 (9)는 다음과 같은 관계가 만족 되어야만 해를 가진다.

$$\gamma^2 = (\alpha - j\delta)^2 + \kappa^2$$

이로부터 다음과 같은 고유치 방정식을 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma L &= \frac{-j\kappa L \sinh(\gamma L)}{D} \\ &\times (\rho_l + \rho_r)(1 - \rho^2) \cosh(\gamma L) \\ &\pm \frac{-j\kappa L \sinh(\gamma L)}{D} (1 + \rho^2) \\ &\times [(\rho_l - \rho_r)^2 \sinh^2(\gamma L) + (1 - \rho^2)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$$\begin{aligned} D &= (1 + \rho^2)^2 - 4\rho^2 \cosh^2(\gamma L) \\ \rho^2 &= \rho_l \rho_r = \hat{\rho}_l \hat{\rho}_r e^{-j2\beta_o L} \\ \rho_l &= \hat{\rho}_l e^{-j\beta_o L'} e^{j\Omega} \\ \rho_r &= \hat{\rho}_r e^{-j\beta_o L''} e^{-j\Omega} \end{aligned}$$

$\hat{\rho}_l$ 과 $\hat{\rho}_r$ 은 각각 왼쪽 반사 거울 면과 오른쪽 반사 거울 면에서 $E(z)$ 의 반사 계수를 뜻한다. L' 과 L'' 의 평균이 L 로 $L = (L' + L'')/2$ 인 관계를 갖는다.

식 (10)으로부터 γ 를 계산할 수 있고, 이로부터 다시 문턱에서 갖는 이득 α 및 δ 를 구하고, δ 를 구한 후에는 $\omega = \frac{c\beta}{n} = \frac{c}{n}(\beta_o + \delta)$ 를 사용하여 발진 주파수를 구할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 $\delta L < 0$ 인 경우

그림 1은 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화를 나타낸 그래프다. 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이도 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

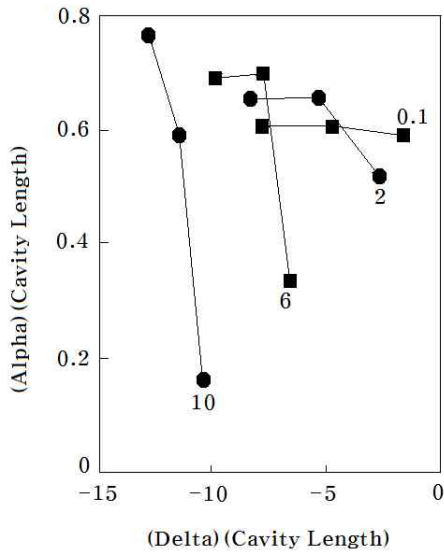


그림 1. ($\delta L < 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$ 인 경우, κL 이 증가할 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화 그래프.

Fig. 1. ($\delta L < 0$) : The graph of ($\alpha L, \delta L$) in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= $-\pi/2$, as κL increases.

그림 2는 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화를 나타낸 그래프다. 그림 1의 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교

하면, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이도 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다는 경향에는 변함이 없다. 그러나 모드가 전반적으로 시계 방향으로 약간 회전하는 변화가 있음을 알 수 있다.

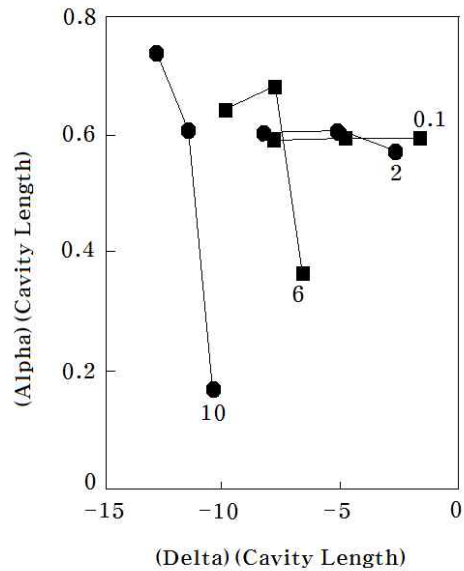


그림 2. ($\delta L < 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π 인 경우, κL 이 증가할 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화 그래프.

Fig. 2. ($\delta L < 0$) : The graph of ($\alpha L, \delta L$) in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= π , as κL increases.

그림 3은 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $\pi/2$)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화를 나타낸 그래프다. (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교하면, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이도 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수

있다는 경향에는 변함이 없다. 그러나 그림 2보다 더, 모드가 전반적으로 시계 방향으로 회전하는 변화가 있음을 알 수 있다.

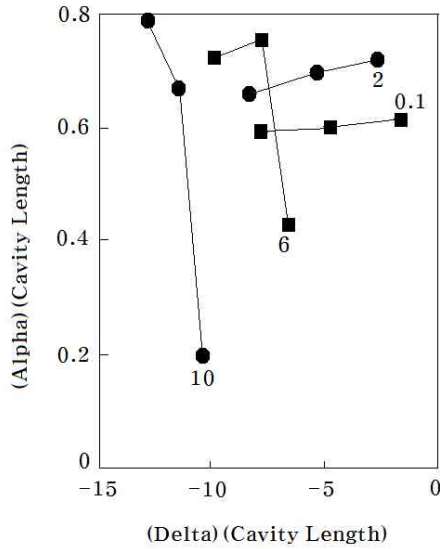


그림 3. ($\delta L < 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $\pi/2$ 인 경우, κL 이 증가할 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화 그래프.

Fig. 3. ($\delta L < 0$) : The graph of $(\alpha L, \delta L)$ in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= $\pi/2$, as κL increases.

그림 4는 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화를 나타낸 그래프다. (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교하면, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 동일하게 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이도 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다. 그러나 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 그림 1~3의 어떤 경우보다 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이때 안정된 주파수 동작을 얻기 위한 κL 의 범위는 $\kappa L \geq 2$ 을 만족시켜야 함을 알 수 있다.

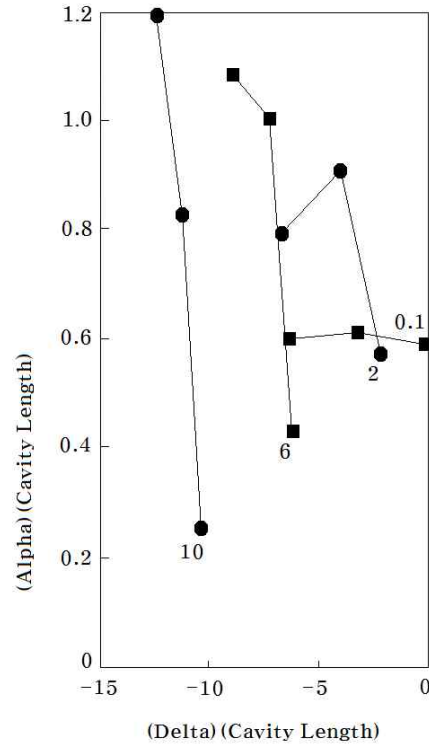


그림 4. ($\delta L < 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0인 경우, κL 이 증가할 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화 그래프.

Fig. 4. ($\delta L < 0$) : The graph of $(\alpha L, \delta L)$ in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase=0, as κL increases.

3.2 $\delta L > 0$ 인 경우

그림 5는 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화를 나타낸 그래프다. 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이다. 그러나 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 안정된 주파수 동작을 얻으려면 κL 이 2에서 6 사이의 값을 가져야 함을 알 수 있다.

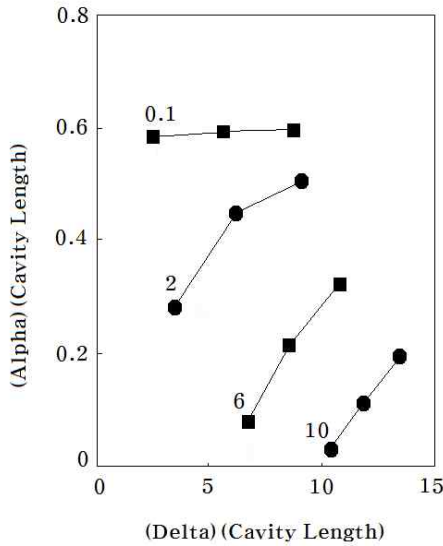


그림 5. ($\delta L > 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$ 인 경우, κL 이 증가할 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화 그래프.

Fig. 5. ($\delta L > 0$) : The graph of $(\alpha L, \delta L)$ in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= $-\pi/2$, as κL increases.

그림 6은 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화를 나타낸 그래프다. 그림 5의 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교하면, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이도 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다. 그러나 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 그림 5, 7 및 8의 어떤 경우보다 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이때 안정된 주파수 동작을 얻기 위한 κL 의 범위는 $\kappa L \geq 5$ 을 만족시켜야 함을 알 수 있다.

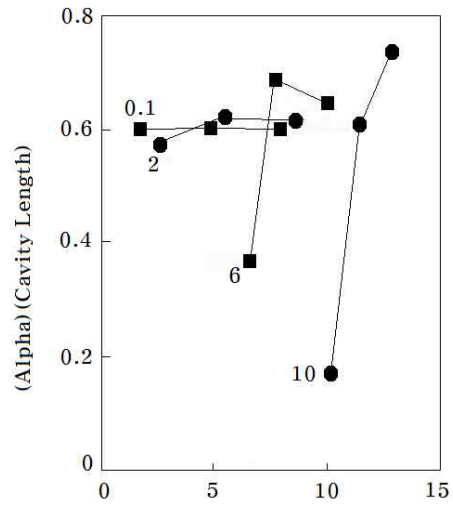


그림 6. ($\delta L > 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π 인 경우, κL 이 증가할 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화 그래프.

Fig. 6. ($\delta L > 0$) : The graph of $(\alpha L, \delta L)$ in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= π , as κL increases.

그림 7은 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $\pi/2$)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화를 나타낸 그래프다. (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교하면, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이다. 그러나 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 안정된 주파수 동작을 얻으려면 κL 이 2에서 6 사이의 값을 가져야 함을 알 수 있다.

그림 8은 (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0)인 경우에, κL 을 0.1로부터 10까지 증가시킬 때 $(\alpha L, \delta L)$ 의 변화를 나타낸 그래프다. (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $-\pi/2$)인 경우와 비교하면, 매우

비슷한 특성을 보여준다. 즉 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이지만, 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 안정된 주파수 동작을 얻으려면 κL 이 2에서 6 사이의 값을 가져야 함을 알 수 있다.

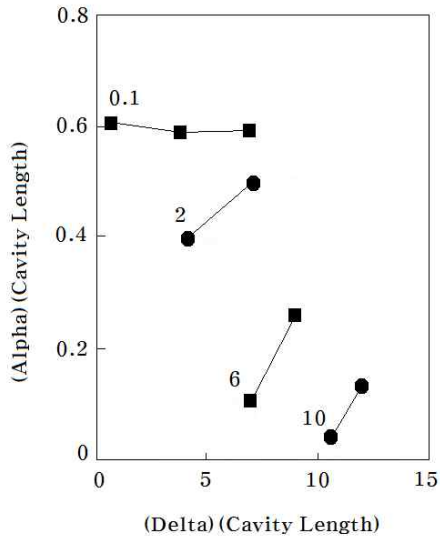


그림 7. ($\delta L > 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= $\pi/2$ 인 경우, κL 이 증가할 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화 그래프.

Fig. 7. ($\delta L > 0$) : The graph of ($\alpha L, \delta L$) in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase= $\pi/2$, as κL increases.

4. 결론

본 논문에서는 벽개된 두 거울 면을 갖는, 1.55um 파장을 갖는 DFB LD에서 이득 그레이팅과 굴절률 그레이팅이 동시에 존재할 때, 편위상 ρ_l 의 위상=0으로 고정시키고, ρ_r 의 위상을 $-\pi/2, \pi, \pi/2, 0$ 인 경우로 변화시킬 때, 발진 주파수와 발진 이득의 상관 변화를 이론적으로 해석하였다.

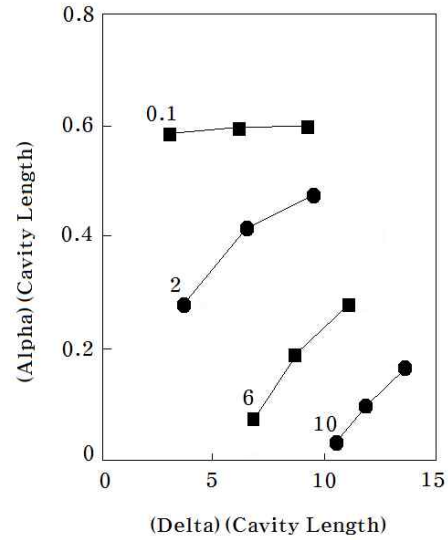


그림 8. ($\delta L > 0$) : ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0인 경우, κL 이 증가할 때 ($\alpha L, \delta L$)의 변화 그래프.

Fig. 8. ($\delta L > 0$) : The graph of ($\alpha L, \delta L$) in case of ρ_l phase=0 and ρ_r phase=0, as κL increases.

$\delta L < 0$ 인 경우, (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0)인 경우에, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다. (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상=0)인 경우에, 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 가장 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있고, 이때 $\kappa L \geq 2$ 가 되어야 한다.

$\delta L > 0$ 인 경우, (ρ_l 의 위상=0, ρ_r 의 위상= π)인 경우에, κL 이 0.1부터 10까지 커질 때, 발진하기 위해 요구되는 발진 이득이 가장 낮은 경우는 $\kappa L = 10$ 이고, 이때 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 가장 커서 안정된 주파수 동작을 얻을 수 있다. (ρ_l 위상=0, ρ_r 위상= π)인 경우에, 고차 모드와의 발진 이득의 차이가 커서 가장 안정

된 주파수 동작을 얻을 수 있고, 이때 $\kappa L \geq 5$ 가 되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Seokyoung Kim, Kwangki Ryoo, "Research on information & communication work business in response to the fourth industrial revolution", *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, vol. 5, no. 1, pp.139-146, 2019. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.1.139>
- [2] T.L. Koch, U. Koren, "Semiconductor lasers for coherent optical fiber communications", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 274-293, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1109/50.50725>
- [3] Jing-Yi Wang, M. Cada, Jin Sun, "Theory for optimum design and analysis of distributed-feedback lasers", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11, issue 1, pp. 24-26, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1109/68.736378>
- [4] S.K.B. Lo, H. Ghafouri-Shiraz, "A method to determine the above-threshold stability of distributed feedback semiconductor laser diodes", *Lightwave Technology Journal of*, vol. 13, no. 4, pp. 563-568, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1109/50.372466>
- [5] H. Olesen, J. Salzman, B. Jonsson, B. Tromborg, "Single-mode stability of DFB lasers with longitudinal Bragg detuning", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 7, issue 5, pp. 461-463, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1109/68.384510>
- [6] C.A. Ferreira Fernandes, "Stability in single longitudinal mode operation in DFB laser structures", *Electrotechnical Conference 2004. MELECON 2004. Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean*, vol. 1, pp. 3-6 Vol.1, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/MELCON.2004.1346756>
- [7] M. Okai, S. Tsuji, N. Chinone, "Stability of the longitudinal mode in $\lambda/4$ -shifted InGaAsP/InP DFB lasers", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 25, issue 6, pp. 1314-1319, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1109/3.29262>
- [8] X. Pan, H. Olesen, B. Tromborg, "Spectral linewidth of DFB lasers including the effects of spatial hole-burning and nonuniform current injection", *Photonics Technology Letters IEEE*, vol. 2, no. 5, pp. 312-315, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1109/68.54690>
- [9] G. Morthier, R. Baets, "Design of index-coupled DEB lasers with reduced longitudinal spatial hole burning", *Lightwave Technology Journal of*, vol. 9, no. 10, pp. 1305-1313, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1109/50.90928>
- [10] T. Yamanaka, S. Seki, K. Yokoyama, "Numerical analysis of static wavelength shift for DFB lasers with longitudinal mode spatial hole burning", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 3, issue 7, pp. 610-612, 1991, DOI: <https://doi.org/10.1109/68.87929>
- [11] Keeyoung Kwon, Janggeun Ki, "Simulation and Examination for Beam Profile of DFB Laser", *The Journal of Korea Software Assessment and Valuation Society*, vol. 15, no. 1, pp. 71-78, 2019, <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2019.06.08>

저 자 소 개



이창석(Chang-Seok Lee)

1996.2 KAIST 전기및전자공학과 박사
1986.2-1998.3 ETRI 연구원
1998.4-현재 : 한밭대학교 정보통신공학과
교수
<주관심분야> 화합물반도체 소자 및 응용



권기영(Kee-Young Kwon)

1988.2. KAIST 전기및전자공학과 박사
1988.3.-1991.2 ㈜삼성전자 기흥 반도체연구
소 선임연구원
1991.3.-현재 공주대학교 공과대학 전기전자
제어공학부 교수
2000.3.-2001.2. Southern Methodist
University 방문교수
<주관심분야> 화합물반도체 소자, 광통신



기장근(Jang-Geun Ki)

1992.2 고려대학교 전자공학과 박사
2002.6-2003.6 Univ. of Arizona 방문교수
2010.6-2011.8 Univ. of Arizona 방문교수
2016.8-2017.8 Univ. of Arizona 방문교수
1992.3-현재 : 공주대학교 공과대학 전기전
자제어공학부 교수
<주관심분야> 통신프로토콜, 이동통신시스템



조현묵(Hyun-Mook Cho)

1995.2 고려대학교 전자공학과 박사
2005.8-2006.7 Georgia Tech. 방문교수
2015.8-2016.7 Georgia Tech. 방문교수
1995.9-현재 공주대 공과대학 전기전자제어
공학부 교수
<주관심분야> 집적회로설계, 고속신호인터
페이스IC, PLL & CDR, RFIC