

論文2001-38SD-9-3

# QWS-DFB 레이저에서 회절격자 주기의 랜덤 변이에 따른 주모드 파장 분포의 해석적 근사식

## (Approximate Analytical Expression of the Laser Wavelength Distribution Incurred by the Grating Period Fluctuation in QWS-DFB Lasers)

河先容\*, 金相培\*, 羅相臣\*

(Sun Yong Ha, Sang Bae Kim, and Sang Sin Na)

### 요 약

회절격자의 인접한 반주기 길이 사이에 음의 상관관계가 있는 반주기 길이의 랜덤 변이가 QWS-DFB 레이저의 주모드 파장 분포에 미치는 영향을 유효 굴절률 전달 매트릭스 방법으로 알아보았다. 주모드 파장 분포를 쉽게 파악할 수 있도록 주모드 파장 분포를 회절격자 반주기의 정규화된 표준편차  $\sigma_A$ 와 인접 반주기 랜덤 변이 사이의 상관계수  $\gamma$ 의 해석적인 근사식으로 나타내었다. 이 확률 밀도 함수는 가우스 분포 함수이며, 그 표준편차는  $\sigma_A$ 가 커질수록 커지고  $\gamma$ 가 -1로 갈수록 작아진다.

### Abstract

Effects of the grating period fluctuation on the wavelength distribution have been studied by an effective index transfer matrix method in quarter wavelength shifted (QWS) DFB lasers. The wavelength distribution is expressed by a probability density that is an analytical function of the correlation coefficient and normalized standard deviation of the grating period fluctuation. The probability density function of wavelength distribution is shown to be nearly Gaussian, and its standard deviation increases with normalized standard deviation of the grating period fluctuation, and decreases with the negative correlation between adjacent half-periods.

### I. 서 론

광통신 시스템에서 고속 대용량의 정보교환이 요구되면서 파장 다중화 방식(Wavelength Division Multiplexing)이 쓰이기 시작하였다. 정보 처리 능력의 증가에 따라 채널 수가 증가하고 채널 간격이 좁아지

면서 광원의 파장 정확도에 대한 요구조건은 점점 엄격해지고 있다.

여러 가지 광원 중에서 QWS(Quarter Wavelength Shifted)-DFB 레이저는 Bragg 파장 가까이에서 발진하여<sup>[1]</sup> 파장 정확도와 단일 모드 안정성이 뛰어나 파장 다중화 방식 시스템의 광원으로 매우 적합하다. 실제의 QWS-DFB 레이저에서는 발진 파장이 Bragg 파장에서 조금 벗어날 수 있는데, 그 주요 원인은 회절 격자 주기의 랜덤 변이와 거울면 잔류 반사율이다. 단일 주파수 동작 수율을 높이기 위하여 거울면 반사율을 0.1% 이하로 하면 파장 변화는  $\pm 0.035 \text{ nm}$  이하로 비교적 작

\* 正會員, 亞洲大學校 電子工學部  
(School of Electronics Engineering, Ajou University)  
接受日字:2000年7月11日, 수정완료일:2001年7月25日

다. 그러나 회절 격자 반주기의 길이는  $0.1\mu\text{m}$  정도이므로 그 길이의 랜덤 변이는 피하기 어려우며, 회절격자 반주기 변이의 정규화된 표준편차가 0.01 정도만 되어도 주모드가 바뀌는 등의 심각한 특성 변화가 나타날 수 있다.<sup>[2]</sup> QWS-DFB 레이저의 회절격자를 만드는 방법에는 여러 가지가 있지만 전자빔 lithography법과 optical lithography(holography) 법이 가장 많이 쓰인다.<sup>[1]</sup> 전자빔 lithography법을 사용하면 회절격자 반주기 패턴을 하나씩 순서대로 만들므로 회절격자 반주기 길이 사이의 상관관계가 거의 없는 반면 optical lithography법은 한꺼번에 패턴을 만드는 방법이므로 회절격자 반주기 분할 사이에 음의 상관관계가 생기게 된다. 인접한 반주기 사이에 음의 상관관계가 완벽할 때 즉  $\gamma=-1$  일 때에는 한 주기의 길이가 일정하므로 주모드 파장 변이가 매우 작게 된다.<sup>[3]</sup> 실제로 제작된 DFB 레이저에서 회절격자 주기의 랜덤 변이가 어느 정도인지에 대한 실험적 연구는 없었지만 holography를 사용하여 제작한 손실 결합형 DFB 레이저의 특성을 잘 나타내려면  $\gamma=-0.9$ , 반주기 길이 변이의 정규화된 표준편차  $\sigma_A=0.01$  정도가 적당함을 확인한 바 있다. 이와 같이  $\gamma$ 나  $\sigma_A$ 는 공정에 따라 달라지는 변수이기 때문에, 이 연구에서는  $\sigma_A$ 와  $\gamma$ 의 존재를 자세히 보았다.

회절격자 주기의 랜덤 변이가 주모드 파장 변이를 포함한 QWS-DFB 레이저에 미치는 영향에 대한 연구는 이미 이루어졌다.<sup>[2, 3]</sup> 그러나 WDM 시스템 응용에서 가장 중요한 요건인 파장 분포에 대한 연구는 없었다. 여기에서는 순수한 회절 격자 랜덤 변이의 영향과 주모드 거울면 손실 변이의 영향을 모두 고려하여 주모드 파장 변이의 정도와 분포를 쉽게 알 수 있도록 확률 밀도 함수를 구하고자 한다. 먼저 II장에서는 유효 굴절률 전달 매트릭스 방법을 사용함에 있어 각각의 회절격자 반주기의 상관관계가 있는 랜덤 변이를 어떻게 모델링하였는지에 대하여 설명하였다. III장에서는 상관관계가 있는 회절격자 반주기의 랜덤 변이가 양 거울면이 완전 무반사 처리된 QWS-DFB 레이저의 주모드 파장 분포에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 주모드 파장 분포의 확률 밀도 함수를 공정 변수인 상관관계수  $\gamma$ , 회절격자 반주기 변이의 정규화된 표준편차  $\sigma_A$ 의 함수로 나타냄으로써, 광원의 파장 요구 조건을 맞추는 공정요건을 쉽게 구할 수 있게 하였다. 마지막

으로 IV장에서는 II장과 III장에서 기술한 내용을 바탕으로 결론을 맺는다.

## II. 해석 방법

주모드 파장에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 회절격자의 주기이므로 이 연구에서는 영향력이 큰 회절격자 반주기 길이의 랜덤 변이만을 고려하기로 한다. 이상적인 회절격자 주기  $\Lambda_0$  는

$$\Lambda_0 = \frac{\lambda_B}{4} \left( \frac{1}{n_L} + \frac{1}{n_H} \right) \quad (1)$$

로 나타낼 수 있으며,  $\lambda_B$ 는 Bragg 파장,  $n_L$ 은 사각파 회절격자에서 낮은 유효 굴절률,  $n_H$ 는 높은 유효 굴절률을 각각 나타낸다. 회절격자 길이 변이 사이에 상관관계가 있는 랜덤 변이는 다음과 같이 상관관계수  $\gamma$ 로 연관시킨 두 랜덤 변수를 사용하여 나타내었다.<sup>[3]</sup>

$$v_{LK} = \sqrt{1-\gamma^2} v_{K'} + \gamma v_{HK} \quad (2)$$

여기서  $v_{HK}$ 와  $v_{LK}$ 는 K번째 주기의 높은 유효 굴절률 부분과, 낮은 유효 굴절률 부분 길이의 랜덤변이를 나타내며 평균이 0이고 표준 편차가 1이며 Gauss 분포를 한다.  $v_{HK}$ 와 두 랜덤 변수의 선형조합인 (2)식으로 주어지는  $v_{LK}$ 를 이용하여 랜덤 변이가 있는 실제 반주기의 길이를 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[3]</sup>

$$\begin{aligned} \Lambda_{H,K} &= (1 + \sigma_A v_{HK}) \Lambda_0 / 2 \\ \Lambda_{L,K} &= (1 + \sigma_A v_{LK}) \Lambda_0 / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

그러므로 그림 1에 보인 것처럼 K번째 주기의 실제 길이는  $\Lambda_K = \Lambda_{H,K} + \Lambda_{L,K}$ 가 된다. 여기에서  $\Lambda_H$ 는 높은 굴절률 부분의 반주기이고,  $\Lambda_L$ 은 낮은 굴절률 부분의 반주기,  $\Lambda_0$ 는 회절격자 평균 주기,  $\sigma_A$ 는 scaling factor를 나타낸다. (3)식으로부터 scaling factor  $\sigma_A$ 는  $\Lambda_0/2$ 로 정규화한 반주기 길이 랜덤 변이의 표준편차가 됨을 알 수 있다.

오차가 작은 확률 밀도 함수를 구하기 위해서는 충분한 데이터가 필요하므로 10,000개의  $v_{HK}$ ,  $v_{K'}$ 의 랜덤 변수 세트들 각각 독립적으로 생성시켜 사용하였다. (2)식에서 구한  $v_{LK}$ 와  $v_{HK}$ 를 이용하여  $\sigma_A=0.005$ 일 때

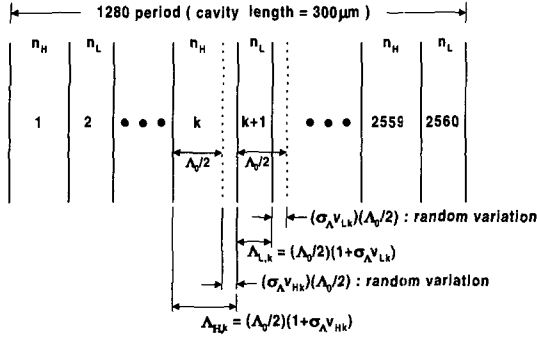


그림 1. 랜덤 변이가 있는 회절격자의 구조  
Fig. 1. Grating structure with random fluctuations in the period.

$\Lambda_H$ ,  $\Lambda_L$ 을 생성시켜 DFB 레이저의 반주기 길이가 변이를 나타내는 랜덤 변수 세트 10,000개를 만들어서 주모드 파장의 분포와 확률 밀도 함수를 구하였다. 또한 이 함수를 다른  $\sigma_A$ ,  $\gamma$  값에 대하여도 적용할 수 있도록 순수한 회절격자 길이 변이에 의한 성분과 문턱이득 변이에 의한 성분으로 주어지는 주모드 파장 변이의 표준편차를  $\sigma_A$ ,  $\gamma$ 의 함수로 표현하였다. 회절격자 길이 랜덤 변이의 영향만을 알아보기 위하여 QWS-DFB 레이저의 양 거울면은 완전 무반사면이며 위상천이는 공진기의 중앙에 있는 것으로 가정하였고, 분산과 파장의 흡수손실의 효과는 무시하였다. 거울면 손실은 흡수 손실이 0인 레이저 공진기의 문턱이득으로 정의하였고 도파로 구조와 물질에서의 랜덤 변이는 없는 것으로 가정하였다. 공진기 길이  $L$ 은  $300 \mu\text{m}$ 로 두었으며  $\alpha L$ 값은 QWS-DFB 레이저에서 spatial hole-burning에 의한 영향이 가장 적은 1.25로 정하였다.

### III. 랜덤 변이에 따른 QWS-DFB 레이저 파장의 분포

QWS-DFB 레이저의 파장 변이는 회절격자 주기 랜덤 변이의 직접적인 영향과, 발진 문턱이득 변이에 따른 유효 굴절률 변화에서 비롯된 변이로 나누어 볼 수 있다.<sup>[2,3]</sup> 도파로 유효 굴절률  $n_{eff} = (n_H + n_L)/2$ 는 도파로를 구성하는 에피층의 구성 물질과 두께, 발진 문턱에서의 캐리어 밀도, 도파로 폭 등의 영향을 받으며, 그 변이  $\delta n_{eff}$ 를 수식으로 표현하면 아래와 같다<sup>[4]</sup>.

$$\delta n_{eff} = \frac{\partial n_{eff}}{\partial t} \cdot \delta t + \frac{\partial n_{eff}}{\partial \lambda_{PL}} \cdot \delta \lambda_{PL}$$

$$+ \frac{\partial n_{eff}}{\partial W} \cdot \delta W - \frac{\lambda \alpha}{4\pi} \cdot \delta g_{th} \quad (4)$$

식 (4)에서 첫 번째 항은 에피층의 두께 변이에 따른 유효 굴절률 변이를 나타내고, 두 번째 항은 photoluminescence 파장  $\lambda_{PL}$ 로 나타내진 에피층 구성 물질의 변이, 세 번째 항은 도파로 폭의 변이, 그리고 마지막 항은 문턱이득 변이에 따른 굴절률 변화에 의해 생기는 변이를 나타낸다. 여기에서, 선폭 확대 계수(line-width enhancement factor)  $\alpha$ 는 능동 영역으로 주입된 캐리어에 의한 유효 굴절률 변화율과 이득 변화율의 비율과 관계되며  $-\frac{4\pi}{\lambda} \frac{(dn_{eff}/dN)}{(dg/dN)}$ 으로 나타낼 수 있다. 이 연구에서는 도파로의 구성 물질과 구조에 의한 변이는 고려하지 않았으므로  $\delta n_{eff}$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\delta n_{eff} = -\frac{\lambda \alpha}{4\pi} \cdot \delta g_{th} \quad (5)$$

그리고 유효 굴절률 변이와 파장 변이 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$\delta \lambda = \lambda \cdot \frac{\delta n_{eff}}{n_{g,eff}} \quad (6)$$

위 식에서  $\lambda$ 는 레이저 파장을 나타내며,  $n_{g,eff}$ 는 유효 굴절률로  $n_{eff} - \lambda(\partial n_{eff}/\partial \lambda)$ 로 주어진다. (5)식을 (6)식에 대입하면 문턱이득 변이에 따른 파장 변이는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \delta \lambda &= -(\lambda^2 \alpha / 4\pi n_{g,eff}) \cdot \delta g_{th} \\ &= -(\lambda^2 \alpha / 2\pi n_{g,eff} L) \cdot \delta(\alpha_{m0} L) \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 회절 격자의 랜덤변이의 직접적인 영향에 의한 변이  $\delta \lambda_0$ 와 주모드의 거울면 손실의 변이에 의한 것을 고려한 주모드 파장은 다음과 같다.

$$\lambda = \lambda_B + \delta \lambda_0 - \frac{\lambda_B^2 \alpha}{2\pi n_{g,eff} L} \delta(\alpha_{m0} L) \quad (8)$$

여기서  $\delta \lambda_0$  항은 반주기 길이 랜덤 변이의 직접적인 영향에 의한 주모드 파장의 변이를 나타내고 끝항은 주모드의 거울면 손실 변이  $\delta(\alpha_{m0} L)$ 에 따른 주모드 파장의 변이를 나타낸다.

주모드 파장의 확률 밀도 함수는 (8)식에서 보듯이

랜덤 변이의 직접적인 영향에 의한 파장 변이의 확률 밀도 함수  $f(\delta\lambda_0)$ , 주모드 거울면 손실 변이의 확률 밀도 함수  $f(\delta\alpha_{m0}L)$ 의 선형조합임을 알 수 있다. 그러므로 먼저 특정한  $\sigma_A, \gamma$ 에 대하여  $f(\delta\lambda_0), f(\delta\alpha_{m0}L)$ 를 구하여 이를 다른  $\sigma_A, \gamma$  값에 대하여 사용할 수 있도록 확장한 다음에  $f(\delta\lambda_0)$ 와  $f(\delta\alpha_{m0}L)$ 의 선형 조합함으로써 주모드 파장 변이의 확률 밀도 함수  $f(\lambda)$ 를 구할 수 있다.

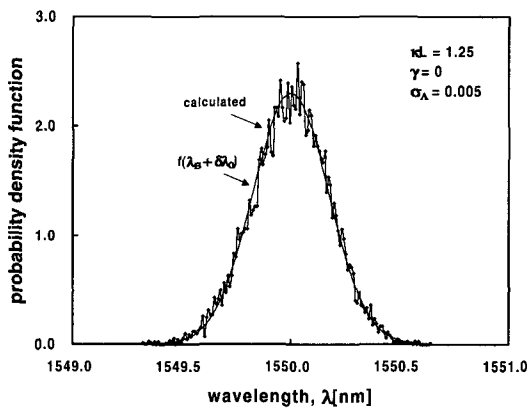


그림 2.  $\kappa L=1.25, \sigma_A=0.005, \gamma=0$ 일 때 순수한 회절격자 주기 랜덤 변이에 의한 주모드 파장의 확률 밀도 함수

Fig. 2. Probability density function of the laser wavelength with only the direct influence of the period fluctuation taken into account.  $\kappa L, \sigma_A$  and  $\gamma$  values are assumed to be 1.25, 0.005, and 0, respectively.

그림 2는  $\gamma=0, \sigma_A=0.005$ 일 때 10,000 세트의 랜덤 변수에 대하여 계산한 주모드의 파장 분포로, 회절격자 주기 랜덤 변이의 직접적인 영향을 나타내는  $\delta\lambda_0$ 만을 고려한 것이다. 그림의 점은 계산 결과이고, 실선은 Gauss 확률 밀도 함수로 curve fitting한 것으로, 주기 랜덤 변이의 직접적인 영향에 따른 파장 분포는 다음의 Gauss 확률 밀도 함수로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

$$f(\delta\lambda_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\lambda_0}} e^{-\frac{\delta\lambda_0^2}{2\sigma_{\lambda_0}^2}} \quad (9)$$

그림 3에서 보면  $\delta\lambda_0$ 의 확률 밀도 함수는  $\sigma_A, \gamma$ 에 따라 표준편차만 바뀐 Gauss 확률 밀도 함수가 된다. 따

라서 (9)식의  $\delta\lambda_0$ 에 대한 확률 밀도 함수를 다른  $\sigma_A, \gamma$ 로 확장하기 위해서는  $\delta\lambda_0$ 의 표준 편차를  $\sigma_A, \gamma$ 의 함수로 표현하면 된다.

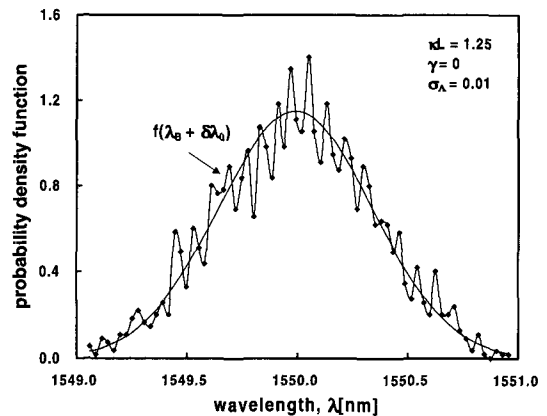
그림 4는  $\sigma_A, \gamma$ 에 따른 순수한 회절격자 주기의 랜덤 변이에 의한 주모드 파장 변이의 표준편차  $\sigma_{\lambda_0}$ 를  $\sigma_A, \gamma$ 에 따라 보인 그림이다.  $\sigma_{\lambda_0}$ 를  $\sigma_A, \gamma$ 의 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sigma_{\lambda_0} = \sigma_A(a + b\sqrt{\gamma+1}) \quad (10)$$

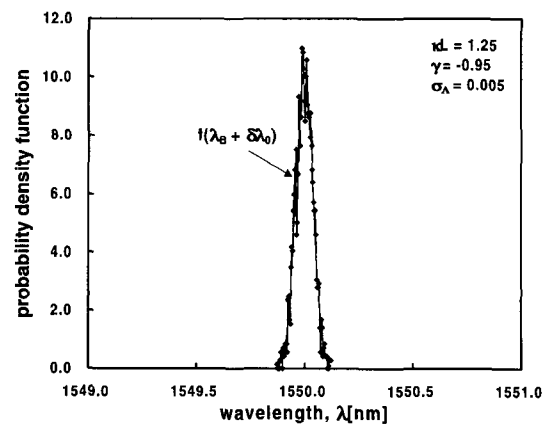
$$a = 0.017[\text{nm}], \quad b = 36.5[\text{nm}]$$

따라서 순수한 회절격자 주기의 랜덤 변이에 따른 주모드 파장의 분포는 (10)식의 표준편차를 (9)식에 대입한 Gauss 분포 함수로 표시된다.

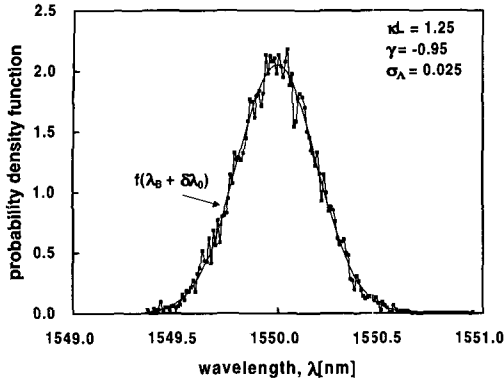
다음으로 주모드 손실 변이와 선폭 확대 계수  $a$ 에 따른 주모드 파장 변이의 분포를 알아본다. 그림 5는



(a)



(b)



(c)

그림 3. 순수한 회절격자 주기 랜덤 변이에 의한 주모드 파장 분포의 (a)  $\sigma_A$ , (b)  $\gamma$ , (c)  $\sigma_A$ 와  $\gamma$ 에 따른 변화

Fig. 3. Influence of change in (a)  $\sigma_A$ , (b)  $\gamma$ , and (c)  $\sigma_A$  and  $\gamma$  on the laser wavelength distribution when only the direct influence of period fluctuation is taken into account.

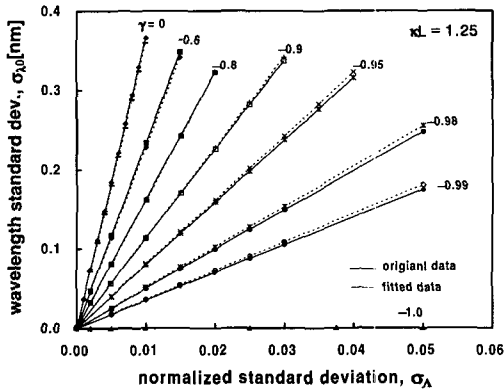


그림 4. 양 거울면이 무반사 처리된 QWS-DFB 레이저에서  $xL$ 이 1.25일 때,  $\sigma_A$ 와 상관계수  $\gamma$ 에 따른 주모드 파장의 표준편차(랜덤 변이의 직접적인 영향).

Fig. 4. Standard deviation of the main mode wavelength versus  $\sigma_A$  in QWS-DFB lasers with perfectly antireflection-coated facets for several  $\gamma$  values.

$\gamma=0$ ,  $\sigma_A=0.005$  일 때 주모드 손실 변이의 확률 밀도 함수이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(\delta\alpha_{m0}L) = 1.8(\delta\alpha_{m0}L + 1.42)^{1.1} e^{-1.15(\delta\alpha_{m0}L + 1.42)^{1.25}} \quad (11)$$

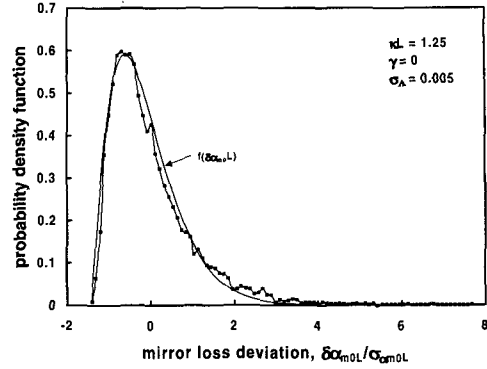


그림 5.  $xL=1.25$ ,  $\sigma_A=0.005$ ,  $\gamma=0$ 일 때의 주모드 거울면 손실 변이의 확률 밀도

Fig. 5. Probability density of the main mode mirror loss when  $xL$ ,  $\sigma_A$  and  $\gamma$  are 1.25, 0.005 and 0, respectively.

(11)식에서 알 수 있듯이 주모드 손실 변이의 확률 밀도 함수는 매우 복잡하고 다른  $\sigma_A$ ,  $\gamma$  값으로 확장하여 사용하기 힘들다. 그러나 그림 6(a)의  $\alpha=7$ 일 때 파장 분포는 회절격자 랜덤 변이가 주모드 파장에 직접적으로 영향을 미치는 성분과 이에 따른 주모드 손실 변이에 의한 주모드 파장 변이를 합한 것으로서  $\alpha=0$ 인 곡선과 차이가 없다.  $\alpha$ 가 7로 상당히 큰 값임에도 불구하고 그 영향이 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 주모드 파장 분포함수  $f(\lambda)$ 를 Gauss 함수로 나타내어도 무방하다. 또한 그림 6(b)는  $\sigma_A=0.025$ ,  $\gamma=-0.95$ 일 때의 주모드 파장의 확률 밀도 함수이다. 여기에서도 볼 수 있듯이  $\alpha$ 가 7임에도 불구하고  $f(\lambda)$ 는  $f(\lambda_B + \delta\lambda_0)$ 와 거의 같으므로  $f(\lambda)$ 를 Gauss 확률 밀도 함수로 나타낼 수 있다. 따라서 표준편차에 거울면 손실의 영향을 고려한 Gauss 확률 밀도 함수를 주모드 파장의 확률 밀도 함수로 사용할 수 있다.

그림 7에서 볼 수 있듯이 회절격자의 랜덤 변이에 의한 주모드 파장과 주모드 거울면 손실은 정규화된 표준편차  $\sigma_A$ 나 상관 계수  $\gamma$ 에 관계없이 서로 독립적이다. 그러므로 (8)식으로부터  $\delta\lambda_0$ ,  $\delta(\alpha_{m0}L)$ 에 의한 주모드의 파장 변이의 표준편차는 다음과 같이 된다.

$$\sigma_\lambda = [ \sigma_{\lambda_0}^2 + (\lambda^2 \alpha / 2\pi n_g L)^2 (\sigma_{\alpha_{m0}L})^2 ]^{1/2} \quad (12)$$

그림 8은  $\sigma_A$ ,  $\gamma$ 에 따른 주모드 거울면 손실  $\alpha_{m0}L$ 의

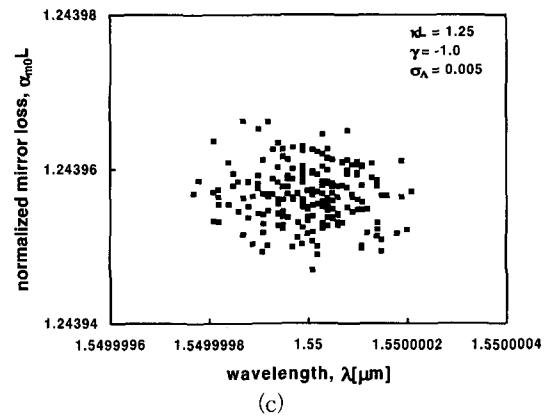
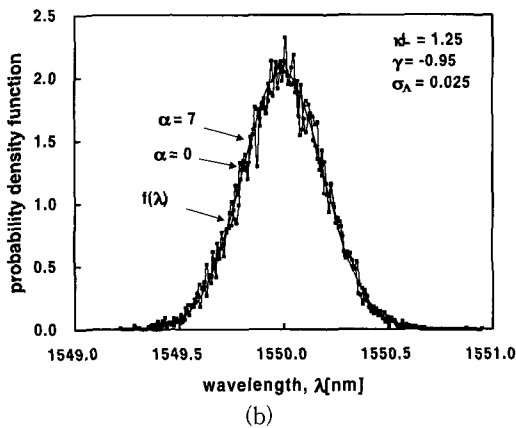
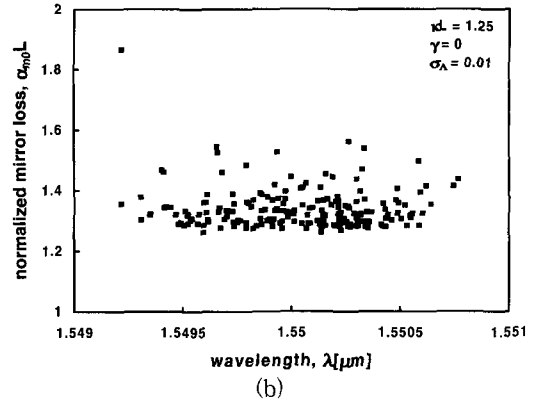
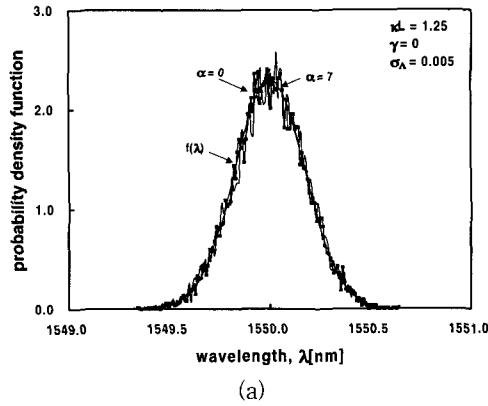


그림 6. 선폭 확대계수  $\alpha=7$ 이고 (a)  $\kappa L=1.25$ ,  $\sigma_A=0.005$ ,  $\gamma=0$ , (b)  $\kappa L=1.25$ ,  $\sigma_A=0.025$ ,  $\gamma=-0.95$  일 때 주모드 파장의 분포와  $\alpha=0$ 일 때의 확률 밀도 함수의 비교  
 Fig. 6. Comparison of the distribution of main mode wavelength between  $\alpha=0$  and  $\alpha=7$  when  $\kappa L$ ,  $\sigma_A$ ,  $\gamma$  are (a) 1.25, 0.005, 0 and (b) 1.25, 0.025, -0.95, respectively.

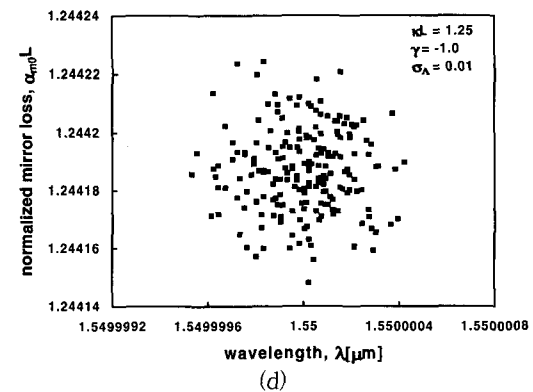
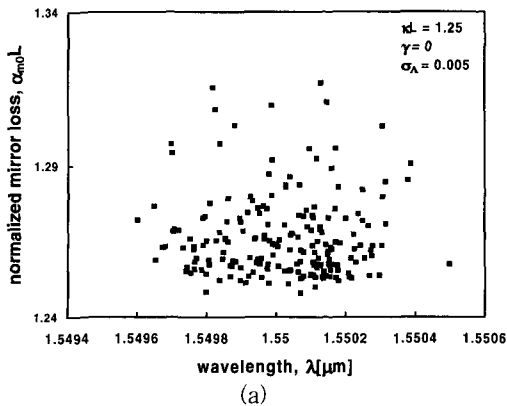


그림 7. 양 거울면이 무반사 처리된 QWS-DFB 레이저에서  $\kappa L=1.25$ 이고 상관계수  $\gamma$ 가 0일 때 (a)  $\sigma_A=0.005$ , (b)  $\sigma_A=0.01$ , 상관계수  $\gamma$ 가 -1일 때 (c)  $\sigma_A=0.005$ , (d)  $\sigma_A=0.01$ 에서 주모드 파장에 따른 주모드 거울면 손실의 변화  
 Fig. 7. Correlation between the wavelength and mirror loss of the main mode when  $\sigma_A$  is (a) 0.005, (b) 0.01 when  $\gamma$  is 0, and  $\sigma_A$  is (c) 0.005, (d) 0.01 when  $\gamma$  is -1 in QWS-DFB lasers.

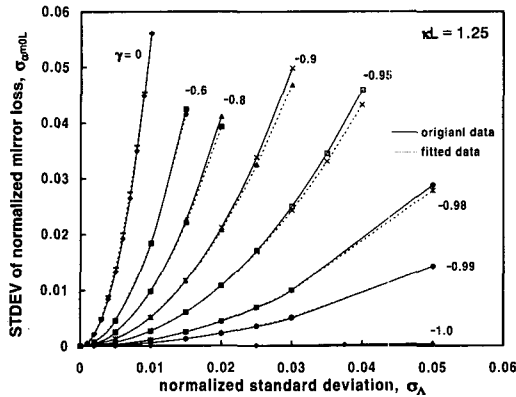


그림 8. 양 거울면이 무반사 처리된 QWS-DFB 레이저에서  $xL$  이 1.25일 때,  $\sigma_L$  과 상관계수  $\gamma$  에 따른 주모드 거울면 손실의 표준편차.  
 Fig. 8. Standard deviation of the main mode mirror loss versus  $\sigma_L$  in QWS-DFB lasers with perfectly antireflection-coated facets for several  $\gamma$  values.

표준 편차를 나타낸 것으로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_{\sigma_{mirr}} = \sigma_L^2 \frac{c+d\gamma}{1+e\gamma+f\gamma^2} \quad (13)$$

여기서  $c=561.57$ ,  $d=561.44$ ,  $e=-0.9$ ,  $f=-0.9$ 이다. 그러므로, 주모드 파장 분포는 (10)식과 (13)식을 (12)식에 넣어 구한 값을 표준편차로 하는 Gauss 확률 분포함수로 나타내어진다.

#### IV. 결 론

회절격자 주기 랜덤 변이의 직접적인 영향과 랜덤 변이에서 비롯된 거울면 손실 변이에 따른 발진 문턱에서의 유효 굴절률 변화에 의한 주모드 파장의 변이를 고려하여 주모드 파장의 확률 밀도 함수를 해석적인 근사식으로 구하였다. 회절격자 주기 랜덤 변이의 직접적인 영향이 거울면 손실 변이의 영향보다 크고 그에 따른 파장 분포가 Gauss 분포 함수로 주어지므로, 이 두 가지를 모두 고려하여 주모드 파장 분포를 확률 밀도 함수로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\lambda} e^{-\frac{(\lambda-\lambda_p)^2}{2\sigma_\lambda^2}} \quad (14)$$

$$\sigma_\lambda = \left[ \sigma_L^2(a+b\sqrt{\gamma+1})^2 + (\lambda_B^2 \alpha / 2\pi n_{g,eff} L)^2 \left( \sigma_L^2 \frac{c+d\gamma}{1+e\gamma+f\gamma^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

- $a = 0.017 [nm]$
- $b = 36.5 [nm]$
- $c = 561.57$
- $d = 561.44$
- $e = -0.9$
- $f = -0.9$

$\sigma_{\lambda_0}$ 가  $xL$ 에 거의 무관하기 때문에 위의 결과는 QWS-DFB 레이저에서 일반적으로 적용 될 수 있다. 그 영향이 비교적 작기는 하지만, 레이저 거울면 반사의 영향을 추가하면 더 현실적인 파장 분포함수를 구할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. Sekartedjo, N. Eda, K. Furuya, Y. Suematsu, F. Koyama, T. Tanbun-Ek, "1.5  $\mu m$  phase-shifted DFB Lasers for single mode operation," Electron. Lett., vol. 20, no.2, pp.80~81, January 1984.
- [2] Jae-Woong Han, Jung-Ho Cha, and Sang-Bae Kim, "Effects of the Random Fluctuation in Grating Period on the Characteristics of Quarter-Wavelength-Shifted DFB Lasers," IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 11, no. 12, pp.1569~1571, December 1999.
- [3] 한 재웅, 김 상배, "회절격자 반주기의 상관관계가 있는 랜덤 변이가  $\lambda/4$  위상천이 DFB 레이저 특성에 미치는 영향," 전자공학회 논문지, 제 37권 SD편, 제 8호, pp.618~626, 2000년 8월
- [4] T. L. Koch, "Laser sources for amplified and WDM lightwave systems," Optical Fiber Telecommunications IIIB, Ch. 4, ed. by I. P. Kaminow and T. L. Koch, New York, Academic Press, 1997.

저 자 소 개



河 先 容(正會員)  
1998년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2000년 8월 : 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 현재 : 삼성전자 연구원



羅 相 臣(正會員)  
1982, 85, 98년 : 전자공학 분야에서 각각 학사, 석사, 박사학위를 받음. 1989~1991년 : 미국 네브라스카대학교 전기공학과에 조교수. 1991년~현재 : 아주대학교 전자공학부

에 재직.

<관심분야> 자료 압축, 신호원 부호화, 디지털 통신 및 신호 처리

金 相 培(正會員) 第37卷 SD編 第8號 參照

현재 : 아주대학교 전자공학부 교수