

# 광스위칭과 표면 발진 레이저를 위한 집적 거울 Etalon의 설계

## (Design of Integrated-Mirror Etalons for Surface-Emitting Lasers and Photonic Switching)

鄭 鍾 述\*, 尹 台 焄\*\*, 金 在 昌\*\*

(Jong Sool Jung, Tae Hoon Yoon, and Jae Chang Kim)

### 要 約

이 논문에서는 많은 시행 오차와 시간을 요하는 수치 해석적인 계산에 의하지 않고 표면 발진 레이저와 광스위칭에 응용하기 위한 집적 거울 etalon의 설계 방법을 제안한다. 이 설계 방법은 다음의 두 단계로 이루어진다. (단계1) 최대 허용 선폭에 대응하는 최소 반사율을 구한다. (단계2) 단계1에서 주어지는 반사율을 가지는 quarter-wave 거울의 층수를 구한다. 집적 거울 etalon의 최대 투과율 조건도 유도한다. 이러한 조건에서 최소의 quarter-wave 층수로 설계 선폭을 얻을 수 있다.

### Abstract

In this paper we report how to design integrated-mirror etalons for surface-emitting lasers and photonic switching without time-consuming numerical calculation. It consists of the following two-step process (step I) find the minimum reflectance to achieve the maximum allowable linewidth. (step II) find the number of the quarter-wave layers in each mirror to realize the reflectance given by step I. The condition for maximum transmission in an integrated-mirror etalon is also derived. Under this condition we can achieve the required linewidth with the minimum number of quarter-wave layers.

### I. 서 론

광학에서는 유전체로 구성된 다층박막 구조를 고 반사율 거울과 대역 여과기 등에 널리 이용하여 왔다.<sup>1</sup> 최근 단일층의 두께를 정확히 제어할 수 있는

MBE(molecular beam epitaxy)와 MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition) 같은 성장 장치가 개발됨에 따라 Fabry-Perot etalon에서 반도체를 성장하여 다층박막 거울을 제작하는데 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 다층박막 거울로 구성된 반도체 etalon(integrated-mirror etalon)은 광스위칭(photonic switching)과 표면 발진 레이저(vertical cavity surface emitting laser) 등에 응용되고 있다.<sup>2-4</sup>

본 논문에서는 광스위칭 및 표면 발진 레이저로

\*準會員, \*\*正會員,釜山大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Pusan Nat'l Univ.)

接受日字: 1991年 11月 7日

사용하기 위한 집적 거울 etalon의 설계 방법을 제안한다. MBE등의 성장 장치로 하나의 etalon을 제작하는 데는 많은 시간과 비용이 소요되므로 실제 제작에 앞서 응용 분야를 결정하고 거기에 적합한 동작 특성을 가지도록 etalon의 구조를 설계하는 것은 매우 중요하다. 기존의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법은 많은 시행착오와 시간을 필요로 하지만, 본 연구에서 제안하는 설계 방법은 동작 파장과 흡수율, 그리고 최대 허용 선폭이 주어질 때 간단한 해석적 형태로 집적 거울 etalon의 구조를 표현한다. 그리고, 이러한 설계 방법에 의하여 최대 투과율 조건<sup>8)</sup>도 쉽게 유도할 수 있다.

## II. 투과율의 선폭(Linewidth)

집적 거울 etalon(integrated-mirror etalon)은 높은 반사율을 가진 두개의 평행한 거울과 그들 사이의 spacer 층으로 구성된다. 각 거울은 높은 굴절율을 가진 매질과 낮은 굴절율을 가진 매질을 번갈아 성장하여 만드는 quarter-wave층의 다층박막 구조로 되어 있다. Spacer 층이 낮은 굴절율 층과 인접한 두개의 quarter-wave 다층박막으로 된 집적 거울 etalon의 구조인 경우에 동작 파장에서의 층수가 p인 상위 거울(top mirror)의 반사율  $R_{top}$ 은

$$R_{top} = \frac{[n_{sp} - (n_l/n_h)^p]^2}{[n_{sp} + (n_l/n_h)^p]^2} \quad (1)$$

으로 된다. 여기서,  $n_{sp}$ ,  $n_h$ 와  $n_l$ 은 각각 spacer 층의 굴절율, 높은 굴절율 층과 낮은 굴절율 층의 굴절율이다. 마찬가지로 q층의 하위 거울(bottom mirror) 반사율  $R_{bot}$ 은

$$R_{bot} = \frac{[n_{sp} - n_s(n_l/n_h)^q]^2}{[n_{sp} + n_s(n_l/n_h)^q]^2} \quad (2)$$

으로 주어진다. 여기서  $n_s$ 는 기판의 굴절율이다. Quarter-wave 거울의 반사율은 동작 파장 근처에서는 거의 일정하므로 파장에 대한 반사율의 변화는 무시할 수 있다. 상위 거울의 반사율  $R_{top}$ , 하위 거울의 반사율  $R_{bot}$ 과 함께 Fabry-Perot etalon의 투과율 T는

$$T = \frac{(1 - R_{top})(1 - R_{bot})}{(1 - R \exp(-\alpha d))^2 + 4R \exp(-\alpha d) \sin^2[(\delta + \phi)/2]} \quad (3)$$

으로 주어진다. 여기서,  $R = \sqrt{R_{top}R_{bot}}$ 이고 경로에 의한 위상 변화  $\delta = 4\pi n_{sp}d/\lambda$ 이고  $\lambda$ 은 자유 공간에서의 파장,  $d$ 와  $\alpha$ 는 각각 spacer 층의 두께와 단위 길이당 흡수 계수이다. 그리고,  $\phi$ 는 양쪽 거울의 반

사에 의한 위상 변화로 파장에 대한 함수이다.

식(3)에 의하면, etalon 투과율 T는  $\delta + \phi = 2m\pi$ ( $m$ : 정수)에서 피크값을 가지고  $(1 - R \exp(-\alpha d))^2 = 4R \exp(-\alpha d) \sin^2[(\delta + \phi)/2]$ 일 때 피크값의 반이 된다. 선폭  $\Delta\lambda$ 는 투과율이 피크의 반에 대응하는 파장의 간격으로 정의하여 etalon 선폭  $\Delta\lambda$ 를

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2(\sin^{-1}[(1 - R \exp(-\alpha d))/2\sqrt{R \exp(-\alpha d)}] - \phi_0/2)}{\pi n_{sp} d} \quad (4)$$

으로 정리할 수 있다. 식(4)에 의해서 양쪽 거울의 반사율과 spacer 층의 흡수율이 주어지는 경우에 etalon의 선폭을 구할 수 있다. 여기서  $\phi_0$ 는 피크의 반에 대응하는 두 파장중에 단파장  $\lambda_0 = \Delta\lambda/2$ 에서의 위상 변화  $\phi$ 의 값으로 다음과 같이 유도할 수 있다.

Quarter-wave층의 특성 행렬에서 진행 경로에 의한 위상 변화  $\delta(\lambda_0 - \Delta\lambda/2)$ 는

$$\delta(\lambda_0 - \Delta\lambda/2) = 2\pi m d / (\lambda_0 - \Delta\lambda/2) \quad (5a)$$

$$\approx \pi/2 + \xi \quad (5b)$$

으로 된다. 여기서,  $\lambda_0$ 는 동작 파장이고  $\xi (= \pi/4\lambda_0)$ 는 선폭  $\Delta\lambda$ 에 의한 위상 변화인데,  $\Delta\lambda \ll \lambda_0$  이므로  $\xi$ 는 1보다 매우 작다. 단일층의 특성 행렬에서  $\cos \delta = -\xi$ ,  $\sin \delta = 1$ 으로 되어 동작 파장 근처에서의 특성 행렬은<sup>9)</sup>

$$\begin{bmatrix} -\xi & i/n \\ i/n & -\xi \end{bmatrix} \quad (6)$$

으로 된다. 여기서,  $n$ 은 단일층의 굴절율이다. p층의 quarter-wave 다층박막의 특성 M행렬은

$$M = (A_L, A_H)^{p/2} = \begin{bmatrix} M_{11} & i M_{12} \\ i M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

으로 쓸 수 있다. 여기서,  $A_L$ 과  $A_H$ 는 각각 낮은 굴절율 층과 높은 굴절율 층의 특성 행렬이다. 특성 행렬 M의 각 원소는

$$M_{11} = (-1)^{p/2} (n_h/n_l)^{p/2} \quad (8a)$$

$$M_{22} = (M_{11})^{-1} \quad (8b)$$

$$M_{12} = \xi M_{11} / (n_h - n_l) \quad (8c)$$

$$M_{21} = \xi n_h n_l M_{11} / (n_h - n_l) \quad (8d)$$

으로 정리할 수 있다. 여기서,  $\xi^{2/2}$ 차 이상은 거의 영에 가까우므로 무시하고  $(n_l/n_h)^p$ 는 p가 충분히 클 때 1보다 충분히 작아져 무시한다. 식(7)의 다층박막 특성 행렬을 이용하여 공기와 접하여 있는 위 거울의 반사에 의한 위상 변화  $\phi_{top}$ 을 구하기 위한 다층박막의 특성 벡터 [B C]<sup>8)</sup>를 구하면

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & i M_{12} \\ i M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{n}_a \end{bmatrix} \quad (9)$$

으로 된다. 여기서,  $\mathbf{n}_a$ 는 공기의 굴절율이다. 다층박막에서의 반사계수  $r$ 은

$$r = \frac{n_{sp} B - C}{n_{sp} B + C} \quad (10a)$$

$$= \frac{n_{sp}(\mathbf{n}_H - \mathbf{n}_L) + i\xi(\mathbf{n}_a n_{sp} - \mathbf{n}_H \mathbf{n}_L)}{n_{sp}(\mathbf{n}_H + \mathbf{n}_L) + i\xi(\mathbf{n}_a n_{sp} + \mathbf{n}_H \mathbf{n}_L)} \quad (10b)$$

$$= |r| \exp(-i \phi_{top}) \quad (10c)$$

으로 된다. 여기서,  $(\mathbf{n}_L/\mathbf{n}_H)^p$ 는  $p$ 가 충분히 큰 경우에 무시하였고, 위상변화  $\phi_{top}$ 는  $\xi^2$ 차 이상을 무시하여

$$\phi_{top} = \tan^{-1} \frac{2\xi \mathbf{n}_H \mathbf{n}_L}{n_{sp}(\mathbf{n}_H - \mathbf{n}_L)} \quad (11)$$

으로 된다. 기관쪽의 다 박막 거울에서의 위상변화  $\phi_{bot}$ 을 마찬가지로 방법으로 구하면  $\phi_{top}$ 과 같음을 알 수 있다. 그래서, 양쪽 거울의 반사에 의한 위상변화  $\phi_0$ 는

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \phi_{top} + \phi_{bot} \\ &= 2 \tan^{-1} \frac{2\xi \mathbf{n}_H \mathbf{n}_L}{n_{sp}(\mathbf{n}_H - \mathbf{n}_L)} \end{aligned} \quad (12)$$

으로 된다. 식(12)에서 알 수 있는 것은 다층박막 층수가 충분히 큰 경우에 반사에 의한 위상변화는 층수에 무관하고 단지, 동작 파장과 선폭, 그리고 각 층의 굴절율에 의하여 결정된다는 것이다. 다른 유형의 etalon 구조에서 반사에 의한 위상변화  $\phi_0$ 는 표 1에 주어진다.

### III. 선폭에 대한 Etalon 구조 설계와 최대 투과율 조건

이상에서는 양쪽 거울의 반사율과 흡수율, 그리고 반사에 의한 위상변화가 주어질 때 선폭을 구하는 방법을 알아보았다. 이세는 동작 파장과 spacer층의 흡수율이 주어질 때, 원하는 선폭을 얻기 위한 etalon 구조를 설계하는 것에 관하여 살펴본다. 식(4)를

$$R \exp(-ad) + 2\sqrt{R} \exp(-ad) \beta - 1 = 0 \quad (13)$$

으로 정리할 수 있다. 여기서,  $\beta$ 는  $\sin(\pi n_{sp} d \Delta\lambda / \lambda^2 + \phi_0/2)$ 이다. 식(13)을  $R$ 에 대하여 풀면  $R$ 은

$$R = (\sqrt{\beta^2 + 1} - \beta)^2 \exp(ad) \quad (14)$$

으로 된다. 여기서, 반사율  $R$ 은 1보다 작아야 하므로 최소의 선폭  $\Delta\lambda$ 을 얻기 위한 최대 흡수 계수  $\alpha_{max}$ 은

$$\alpha_{max} = \frac{-2 \log(\sqrt{\beta^2 + 1} - \beta)}{d} \quad (15)$$

와 같이 정리되므로 설계 선폭을 얻는 것은 최대 흡수 계수  $\alpha_{max}$ 보다 작은 흡수 계수에서 가능하다. 이와 같은 조건을 만족할 때 식(4)에 의하여 최대 허용 선폭  $\Delta\lambda$ 에 대한 최소 반사율  $R = \sqrt{R_{top} R_{bot}}$ 을 계산할 수 있다.

이제 식(14)에 의하여 주어지는 반사율  $R$ 을 얻기 위한 적당한 quarter-wave 층수를 구하는 방법을 제시한다. 식(1)을 층수  $p$ 에 관하여 정리하면, 상위 거울의 quarter-wave 층수  $p$ 는

$$p = \frac{\log[(1 + \sqrt{R_{top}})/n_{sp}(1 - \sqrt{R_{top}})]}{\log(\mathbf{n}_H/\mathbf{n}_L)} \quad (16)$$

으로 된다. 식(16)에 의하여 임의로 선택한  $R_{top}$ 에 대하여 적당한 층수  $p$ 를 구할 수 있다. 마찬가지로 하위 거울의 반사율  $R_{bot}$ 는  $R^2/R_{top}$ 에 의하여 결정되고 거기에 적합한 quarter-wave 층수  $q$ 는

$$q = \frac{\log[\mathbf{n}_s(1 + \sqrt{R_{bot}})/n_{sp}(1 - \sqrt{R_{bot}})]}{\log(\mathbf{n}_H/\mathbf{n}_L)} \quad (17)$$

으로 된다. 기관을 제거하는 경우에 식(17)의  $q$ 는 식(16)의  $p$ 와 같게 된다. 층수  $p$ 와  $q$ 는 짝수이므로 식(16), (17)에서 구할 수 있는 것보다 큰수중 가장 작은 짝수를 선택한다. 이상에서는 양쪽 거울의 층수를 짝수로 가정하고 유도하였으나 표 2에 주어진 다른 유형의 etalon 구조에서도 유사하게 적용할 수 있다. 표 1에 주어진 네가지 유형의 etalon 구조에서 spacer 층과 기관, 그리고 거울의 각 구성 매질의 굴절율을 고려하여 적합한 구조를 선택한다.

광스위칭 시스템에서 광회로가 연속되는 경우에 피크 투과율이 큰 etalon이 더 바람직하다. 식(3)을 반사율  $R_{top}$ 에 대하여 미분하여 피크 투과율이 최대가 되는 조건을 구하면

$$R_{top} = R_{bot} \exp(-2ad) \quad (18)$$

와 같이 된다. 식(18)에서 흡수가 없는 Fabry-Perot etalon에서는  $R_{top} = R_{bot}$ 일 때 투과율이 최대가 됨을 쉽게 알 수 있다. 그리고 이 조건에서 요구된 선폭을 얻을 수 있는 quarter-wave 층수가 최소로 된다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 짐적 거울 etalon에서는 양쪽 거울을 같은 구조로 성장한 후에 기관을 제거하는 방법이 사용된다. 그러나 이 방법은 기술적으로 원하는 지점까지 정확히 에칭하기가 어렵고 에칭후에도 표면에 고르지 않게 되어 etalon 동작을 저하시킨다. 또, 기관은 etalon의 기계적 안정을 유지

표 1. 4유형의 etalon 구조에서 양쪽 거울에서 반사에 의한 위상변화  $\phi_0$ . H와 L, 그리고 S는 각각 높은 굴절률 층과 낮은 굴절률 층 그리고 spacer층이다

Table 1. Phase change  $\phi_0$  upon reflection by the two mirrors in 4 types of etalon structures. H, L, and S represent high-index, low-index, and spacer layer, respectively.

type	etalon structure	$\phi_0$
1	air (HL) <sup>p/2</sup> S(LH) <sup>q/2</sup>  substrate	$2 \tan^{-1} \frac{2 \xi n_H n_L}{n_{sp}(n_H - n_L)}$
2	air (HL) <sup>p/2</sup> S(LH) <sup>q/2</sup> L substrate	$2 \tan^{-1} \frac{2 \xi n_H n_L}{n_{sp}(n_H - n_L)}$
3	air (HL) <sup>p/2</sup> HS(LH) <sup>q/2</sup>  substrate	$\tan^{-1} \frac{2 \xi n_H n_L}{n_{sp}(n_H - n_L)} - \tan^{-1} \frac{2 \xi n_{sp}}{n_H - n_L}$
4	air (HL) <sup>p/2</sup> HSH(LH) <sup>q/2</sup>  substrate	$-2 \tan^{-1} \frac{2 \xi n_{sp}}{n_H - n_L}$

$$* \xi = \pi \Delta \lambda / 4 \lambda_0$$

표 2. 표1에서 주어진 4유형의 etalon 구조에서 양쪽 quarter-wave 거울의 최소 층수와 최적의 층수 차이  $q^* - p^*$

Table 2. Minimum required number of the quarter-wave layers for each mirror and the optimum difference  $q^* - p^*$  in 4 types of etalon structures shown in table 1.

type	p	q	$q^* - p^*$
1	$\frac{A - \log(n_{sp})}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{B - \log(n_H/n_S)}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{\log(n_S)}{\log(n_H/n_L)}$
2	$\frac{A - \log(n_{sp})}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{B - \log(n_S n_{sp}/n_L^2)}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{\log(n_L^2/n_S)}{\log(n_H/n_L)}$
3	$\frac{A - \log(n_H^2/n_{sp})}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{B - \log(n_S/n_{sp})}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{\log(n_H^2/n_S)}{\log(n_H/n_L)}$
4	$\frac{A - \log(n_H^2/n_{sp})}{\log(n_H - n_L)}$	$\frac{B - \log(n_H^2/n_S n_{sp})}{\log(n_H/n_L)}$	$\frac{\log(n_S)}{\log(n_H/n_L)}$

$$* A = \log[(1 + \sqrt{R_{top}})/(1 - \sqrt{R_{top}})], B = \log[(1 + \sqrt{R_{bot}})/(1 - \sqrt{R_{bot}})]$$

하는 데 도움이 되고 소자를 동작할 때 발생하는 열을 방출하는 역할도 한다. 그래서, 기판을 제거하지 않고 양쪽 거울의 반사율을 같게 하기 위하여 하위 거울의 층수를 상위 거울보다 더 많이 성장하여야 한다. 식(17)~(19)를 이용하여 최대 투과율을 만족하기 위한 최적의 층수 차이  $q^* - p^*$ 를 구하면

$$q^* - p^* = \frac{\log H}{\log(n_H/n_L)} \quad (19)$$

와 같이 되고 여기서 H는

$$H = \frac{n_s(1 + \sqrt{R_{top}} \exp(-ad))(1 - \sqrt{R_{top}})}{(1 - \sqrt{R_{top}} \exp(-ad))(1 + \sqrt{R_{top}})} \quad (20)$$

으로 되고 식(1)의 반사율  $R_{top}$ 을 식(20)에 대입하면

$$H = \frac{n_s[n_{sp}(1 + \exp(-ad)) + (n_L/n_H)^p(1 - \exp(-ad))]}{n_{sp}[(1 + \exp(-ad)) + n_{sp}(n_H/n_L)^p(1 - \exp(-ad))]} \quad (21)$$

으로 된다. 식(21)에서  $\exp(-ad) = 1$ 인 경우에 식(19)는

$$q^* - p^* = \frac{\log n_s}{\log(n_H/n_L)} \quad (22)$$

으로 간략화 된다.<sup>8)</sup> 여기서,  $p^*$ 와  $q^*$ 는 각각 최대 투과율 조건을 만족하는 상위 거울과 하위 거울의 quarter-wave 층수이다. 식(22)에서 알 수 있듯이 흡수가 없는 경우에 최대 투과율 조건은 거울의 층수와는 무관하고 거울 층수의 차이에만 의존한다는 것을 알 수 있다. 그리고, 최적 층수 차이  $q^* - p^*$ 는 반사율 R뿐만 아니라 spacer의 굴절률과도 무관하다. 다른 유형의 etalon 구조에 대한 최적 차이  $q^* - p^*$ 는 표2의 마지막 행에 주어진다. Etalon이 on 상태일 때 spacer 층의 흡수는 매우 작으므로 식(22)의 경우를 만족한다.

#### IV. 설계 Etalon의 시뮬레이션 결과

전산 시뮬레이션에서 각 층의 매질은 <sup>17)</sup>과 같은 것으로 선택한다. Spacer 층은 well이 35Å이고 barrier가 58Å인 Ga<sub>0.47</sub>In<sub>0.48</sub>In<sub>0.52</sub>As multiple quantum well 구조로 한다. 각 거울은 흡수가 없는 높은 (Ga<sub>0.33</sub>Al<sub>0.15</sub>In<sub>0.52</sub>As) 굴절률 층과 낮은 (Al<sub>0.48</sub>In<sub>0.52</sub>As) 굴절률 층을 번갈아 성장시킨 quarter-wave 구조로 되어 있다. 이들 거울 구성 매질의 굴절률 차이는 파장에 따라 변하지만 약 0.25 정도이다.<sup>10,11)</sup> 기판을 InP로 선택하는데, InP는 동작 파장 (1.3μm)에서 투명하다. 그림1은 etalon의 선폭에 대한 거울의 quarter-wave 층수를 나타낸 것이다. 이 그림에서 최적 차이  $q^* - p^*$ 는 식(22)에서 나타난 것과 같이 요구된 선폭 Δλ에 상관없이 일정하다는 것을 알 수 있다. 임의의 etalon을 설계하는 예를 들면 선폭이 4nm이고 spacer 층의 흡수 계수가 0이고 두께가 2.5λ<sub>0</sub>/n<sub>sp</sub>인 경우에 표1에 주어진 네가지 유형 중 유형 1의 etalon 구조에서 반사율 R은 0.84보다 커야되고 거기에 대응하는 거울의 최적 층수는 각각  $p^*$ 는 26,  $q^*$ 는 40이다. 이렇게 설계된 etalon의 전산 시뮬레이션에 의한 투과율은 그림2에서 보여지는 것과 같이 약 3.4nm((4 nm)의 선폭을 가진다.

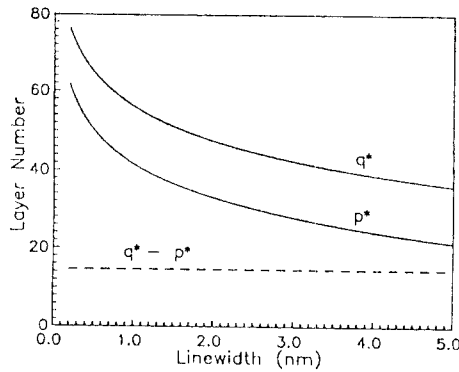


그림 1. Spacer 층의 두께가  $2.5\lambda_0/n_{sp}$ 이고 흡수율이 영인 etalon의 최대 허용 선폭에 대한 quarter-wave층의 최적 층수

Fig. 1. Optimum number of quarter-wave layers for each mirror vs the maximum allowable linewidth of an etalon with the spacer thickness  $d=2.5\lambda_0/n_{sp}$ .

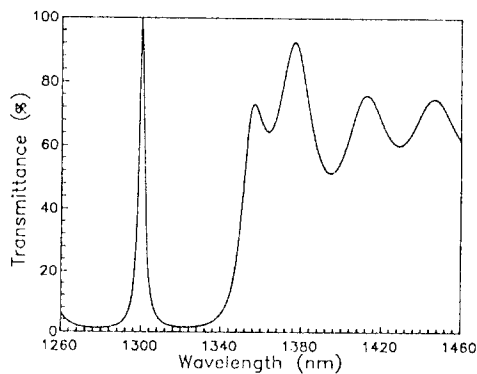


그림 2.  $\lambda_0=1.3\mu\text{m}$ ,  $d=2.5\lambda_0/n_{sp}$ ,  $p^*=26$ ,  $q^*=40$ ,  $\alpha=0$ 으로 설계된 GaAlInAs/AlInAs quarter-wave 거울로 구성된 GaInAs/AlInAs MQW etalon의 동작 특성

Fig. 2. Calculated spectral response of a GaInAs/AlInAs MQW etalon with GaAlInAs/AlInAs quarter-wave mirrors designed for operation at  $1.3\mu\text{m}$ ,  $d=2.5\lambda_0/n_{sp}$ ,  $\alpha=0$ ,  $p^*=26$ , and  $q^*=40$ .

## V. 결 론

많은 시행오차와 시간을 필요로 하는 수치 해석적인 전산 시뮬레이션에 의하지 않고 집적 거울 etalon을 설계하는 방법을 해석적 형태로 제안하였다. 먼

저, 선폭과 반사율과의 관계를 구한 후, 반사율에 대응하는 다층박막 거울의 quarter-wave 층수를 결정한다. 그리고, 양쪽 다층박막의 반사율을 같게 하여 집적 거울 etalon의 최대 투과율 조건도 간단히 유도하였다. 동작 파장 근처에서 다층박막 층수가 충분히 클 때 반사에 의한 위상 변화는 층수에 무관하다는 것을 알 수 있다. 이 조건에서 etalon은 설계 선폭을 만족하는 최소 quarter-wave 층수를 가진다.

## 參 考 文 獻

- [1] Melles Griot, Optics Guide 4, Melles Griot Co., 1990.
- [2] P.L. Gourley, R.M. Biefeld, T.J. Drummond, and T.E. Zipperian, "Expitaxial semiconductor optical interference devices," *SPIE Quantum well and Superlattice Phys.*, vol. 792, pp. 178-188, 1987.
- [3] J.L. Jewell, Y.H. Lee, S.L. McCall, J.P. Harbison, and L.T. Florez, "High-finesse (Al, Ga) As interference filters grown by molecular beam epitaxy," *Appl. Phys., Lett.* vol. 53, no. 8, pp. 640-642, 1988.
- [4] T. Sakaguchi, E. Koyama, and K. Iga, "Vertical cavity surface-emitting laser with an AlGaAs/AlAs Bragg reflector," *Electron. Lett.*, vol. 24, no. 15, pp. 928-929, 1988.
- [5] J. Faist, J.-D. Ganiere, Ph. Buffat, S. Sampson, and F.-K. Reinhart, "Characterization of GaAs/(GaAs) n(AlAs)m surface-emitting laser structures through reflectivity and high-resolution electron microscopy measurements," *J. Appl. Phys.*, vol. 66, no. 3, pp. 1023-1032, 1989.
- [6] B.G. Sfez, J.L. Oudar, J.C. Michel, R. Kuszelewicz, and R. Azoulay, "External-beam switching in monolithic bistable GaAs quantum well etalons," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 57, no. 18, pp. 1849-1851, 1990.
- [7] G. Khitrova, T. Iwabuchi, C.L. Chuang, and T. Yoon, "Integrated-mirror etalons for  $1.3\mu\text{m}$  operation grown by molecular-beam epitaxy," *J. Appl. Phys.*, vol. 69, no. 9, pp. 6704-6706, 1991.
- [8] 정종술, 윤태훈, 김재창, "Integrated-mirror etalon에서 최대 피크 투과율을 위한 조건." 대한전자공학회 하계종합학술발표대회논문집, 14권 1호, pp. 523-526, 1991.
- [9] H.A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters*, 2nd ed., New York, Macmillan, 1986.

[10] S. Nojima and H. Asahi, "Refractive index of InGaAs/InAlAs multi-quantum-well layers grown by molecular-beam epitaxy," *J. Appl. Phys.*, vol. 63, no. 2, pp. 479-483, 1988.

[11] A.J. Moseley, J. Thompson, D.J. Robbins, and M.Q. Kearley, "High-reflectivity

AlGaInAs/InP multilayer mirrors grown by low-pressure MOVPE for application to long-wavelength high-contrast-ratio multi-quantum-well modulators," *Electron. Lett.*, vol. 25, no. 25, pp. 1717-1718, 1989.

---

著 者 紹 介

---



**鄭 鍾 述 (正會員)**  
 1968年 5月 20日生. 1990年 2月  
 부산대학교 전자공학과 졸업.  
 1992年 2月 부산대학교 대학교  
 전자공학과 공학석사학위 취득.  
 현재 한국전자통신연구소 기초기  
 술연구부 재직. 주관심분야는 광  
 스위칭 및 레이저소자와 발광 실리콘 등임.

**尹 台 焄 (正會員)** 第28卷 A編 第6號 參照  
 현재 부산대학교 전자공학과  
 조교수



**金 在 昌 (正會員)** 第28卷 A編 第6號 參照  
 현재 부산대학교 전자공학과  
 교수