論 文

집적 거울 Etalon의 최대 투과율 조건

正會員 정 종 술* 正會員 尹 台 焄* 正會員 김 재 창*

Condition for Maximum Transmission in Integrated-Mirror Etalons

Jong Sool Jung*, Tae Hoon Yoon*, Jae Chang Kim* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 반도체 집적거울 etalon의 투과율을 최대로 하기 위한 조건을 유도한다. 투과율이 최대가 되는 조건은 상위 거울과 하위 거울의 층수 차이로 주어지며, 이 차이는 거울을 형성하는 두 가지 매질의 굴절율비에 의해 결정된다.

ABSTRACT

In this paper the condition for maximum transmission in an integrated-mirror etalon is derived. It is given as the layer-number difference between the top mirror and the bottom mirror. The difference is dependent on the ratio of refractive indices of two kinds of quarter-wave layers.

I. 서 론

광학에서는 유전체로 구성된 다층박막 구조를 고반사율 거울과 대역 여과기 등에 널리 이용하여 왔다[1]. 최근, 단일층의 두께를 정확히 제어할 수 있는 MBE(mulecular beam epitaxy)와 MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition) 같은 성장 장치가 개발됨에 따라 Fabry-Perot etalon에서 반도체를 성장하여 다층박막 거울을 제작하는 데 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 응용하고 있다[2-7].

지금까지 반도체 etalon을 제작하는 방법으로는, 먼저 기판을 기계적으로 갈아내고 화학적인 에칭을 행하였다. 둘째, 반도체 결정의 양면에 고반사의 유전체 다층박막 거울을 coating 또는 부착시켰다. 이러한 공정은 반도체 결정의 양면이 평탄하고, 서로 평행을 이루도록 하는 데 상당한 기술과 노력을 요한다. 그리고, 공정 후의 두께를 원하는 값으로 얻기가 대단히 어려워서 소자의 동작 파장을 제어할 수 없게 한다. MBE 장치와 MOCVD 장치 등의 출현으로 이러한 어려움은 해결되었을 뿐만 아니라 매질의 두께

*釜山大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering Pusan National Univ.
論文番號 : 92-69(接受1991. 10. 29)

를 정확히 제어하고 각 경계에서의 격자 정합도 잘 이루어져 산란에 의한 손실을 크게 줄일 수 있다. 그러나, 반도체 집적 거울 etalon은 하나의 기판위에서 제작하므로 양 쪽 다층박막 층수가 같을 때 반사율이 같지 않게 되어 피크 투과율이 최대가 되지 않는다. 그래서, 일반적인 양 쪽 다층박막 거울의 구조를 같게 성장한 후에 기판을 에칭하는 방법을 사용한다. 그러나, 기판을 에칭할 때 두께의 조정이 어렵고 에칭 후에 표면에 고르게 되지 않을 뿐만 아니라 기판은 기계적 안전과 열냉각 기능이 있으므로 필요하다. 그래서, 본 논문에서는 기판을 제거하지 않고 etalon의 투과율을 최대로 하는 방법을 제안한다. 층수가 같은 집적 거울에서 기판 쪽의 하위 거울(bottom mirror) 반사율은 공기 쪽의 상위 거울(top mirror) 반사율 보다 작으므로 하위 거울의 층수를 더 많이 성장하여 양 쪽 거울의 반사율을 같도록 하여 피크 투과율이 최대가 되도록 제작할 수 있다. 최대 투과율 조건은 피크 투과율 공식을 유도한 후에 이로부터 유도한다. 그리고, 본 논문에서 비스듬한 입사에서의 투과율 특성도 연구한다.

Ⅱ. 집적 거울 etalon의 기본 이론과 동작 원리

다층박막의 광학적 성질은 각 층의 굴절율에 의하여 결정된다. 각 층의 굴절율 N을 일반적으로

$$N = \mathbf{n} - i\kappa \tag{1}$$

의 복소수로 표현하며 복소굴절율이라 한다. 여기서 n은 물질에서의 흡수를 무시하고 사용되는 보통 통용되는 굴절율로 실수이고, 허수항의 계수 κ는 흡수 계수 α와

$$\alpha = 4\pi\kappa/\lambda \tag{2}$$

의 관계를 가진다. 복소굴절율 N은 파장의 함수이므로 파장에 따른 다층박막의 광학적 성질을 파악하는 데 중요한 매개변수이다.

동질 동방(homogeneous, isotropic)의 매질(0와 1)사이의 경계에서 입사 빔의 반사계수 r과 투과계수 t는 각각

$$r = (Y_0 - Y_1)/(Y_0 + Y_1) \tag{3}$$

$$t = 2Y_0/(Y_0 + Y_1) \tag{4}$$

과 같다. 여기서, $Y = \sqrt{\varepsilon/\mu}$는 매질의 어드미턴스이고 ε과 μ는 매질의 유전율과 투자율이다. 광학에서 자유 공간의 어드미턴스는 복소 굴절율과 $Y = \eta_0 N$의 관계를 가진다. 여기서, $\eta_0 = 2.6544 \times 10^{-3}$ Siemens는 자유공간의 특성 어드미턴스(characteristic admittance)이다. 비스듬한 입사에서의 어드미턴스 Y는

$$Y = H_{tan}/E_{tan} \tag{5}$$

로 정의되므로 수직 입사에서의 어드미턴스가 $\eta_0 N$일 때, 입사빔이 TE(transverse electric) wave인지 TM(transverse magnetic) wave인지에 따라[8]

$$Y = \begin{cases} \eta_0 N \cos\theta & \text{for TE waves} \quad (6a) \\ \eta_0 N/\cos\theta & \text{for TM waves} \quad (6b) \end{cases}$$

으로 표현할 수 있다. 여기서, θ는 각각의 층에서의 입사각이다. 그림 1은 단일 박막층(thin film layer)

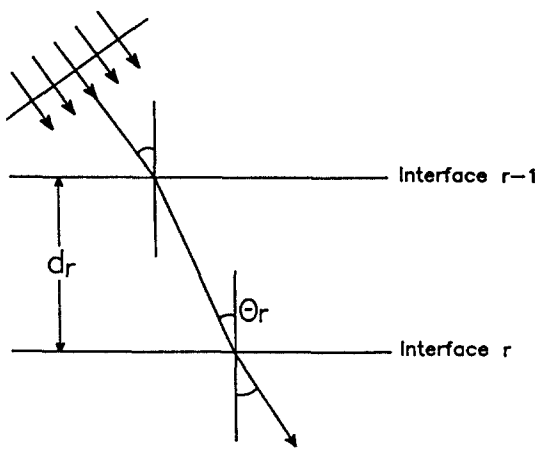

그림 1. 1단일 박막층(Thin-film layer)의 특성 행렬을 구하는 데 사용되는 구조.

Fig. 1. Geometry used for the construction of the characteristic matrix of a thin-film layer.

의 특성 행렬을 구하는 데 사용되는 구조이다. 위의 그림에서 경계 r−1과 r에서의 light field를 경계 조건에 맞추어 연관짓는다면[9],

$$\begin{bmatrix} E_{r-1} \\ H_{r-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_r & i\sin\delta_r / Y_r \\ i\,Y_r\sin\delta_r & \cos\delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r \\ H_r \end{bmatrix} \quad (7)$$

의 형태로 표현된다. 여기서, E_r, E_{r-1}, H_r와 H_{r-1}는 경계 r과 r-1에서 입사 빔과 반사 빔의 전장과 자장의 접선 성분이다. Y_r은 매질 r의 어드미턴스이다. 여기서, N_r은 층 r의 복소 굴절율이고, θ_r은 경계 r에서의 입사각이다. δ_r은 층 r을 두께 d_r을 진행함으로써 발생하는 위상 변화이다.

$$\delta_r = \frac{2\pi N_r d_r \cos\theta_r}{\lambda} \quad (8)$$

여기서, λ는 자유 공간에서의 입사빔 파장이다. q층의 다층박막에 대하여 첫 경계 0의 E_0, H_0와 마지막 경계 q의 E_q, H_q와의 관계를 단일층의 특성 행렬 식 (7)을 이용하여 구하면

$$\begin{bmatrix} E_0 \\ H_0 \end{bmatrix} = \prod_{r=1}^{q} \begin{bmatrix} \cos\delta_r & i\sin\delta_r / Y_r \\ i\,Y_r\sin\delta_r & \cos\delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_q \\ H_q \end{bmatrix} \quad (9)$$

으로 된다. 식 (9)에서 다층박막의 특성 베터 [B C]^{T}를

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \prod_{r=1}^{q} \begin{bmatrix} \cos\delta_r & i\sin\delta_r / Y_r \\ i\,Y_r\sin\delta_r & \cos\delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Y_s \end{bmatrix} \quad (10)$$

으로 쓸 수 있다. 여기서, Y_s는 기판의 어드미턴스이다. 식 (9)과 (10)를 이용하여 다층박막의 등가 어드미턴스 Y_{eq}를

$$Y_{eq} = \frac{H_0}{E_0} = \frac{B}{C} \quad (11)$$

와 같이 구할 수 있다. 식 (10)의 특성 벡터를 이용하여 다층박막 거울의 투과율 T를 구하면

$$T = \frac{4Y_a Re(Y_s)}{(Y_a B+C)(Y_a B+C)^*} \quad (12)$$

와 같다. 여기서, a*는 a의 공액 복소수이고, Y_a는 공기의 어드미턴스이다.

Quarter wave 구조는 높은 굴절율을 가진 매질과 낮은 굴절율을 가진 매질을 광학적 두께가 동작 파장의 4분의 1이 되도록 번갈아 성장한 다층박막 구조이다. Quarter-wave 다층박막의 거울 구조는 반사빔이 같은 위상이 되어 일정한 수의 층에서 최대의 반사율을 가지므로 이러한 다층박막 구조를 선택한다. 이때, 동작 파장에서 각 층에서의 위상 변화 δ는 $\pi/2$가 되어 단일층의 특성 행렬은

$$\begin{bmatrix} 0 & i/Y_r \\ i\,Y_r & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

이 된다. 전체 quarter-wave 다층박막의 어드미턴스 Y는

$$Y = \frac{Y_H^q Y_L^q Y_H^q \ldots}{Y_L^q Y_H^q Y_L^q \ldots Y_s} \quad (14)$$

와 같다. 여기서, 기판의 어드미턴스 Y_s는 홀수 개의 층수에 대하여서는 분모에, 짝수 개의 층수에서는 분자에 오게 된다. 그리고, 높은 굴절율 매질과 낮은 굴절율 매질을 번갈아 성장시킨 quarter-wave 다층박막의 층수가 2q+1일 때의 최대 반사율 R_{max}를

$$R_{max} = 0\left[\frac{Y_a - (Y_H)^{2(q+1)}/(Y_L^{2q} Y_s)}{Y_a + (Y_H)^{2(q+1)}/(Y_L^{2q} Y_s)}\right]^2 \quad (15)$$

과 같이 표현할 수 있다. 여기서, Y_H와 Y_L은 각각 높은 굴절율 매질과 낮은 굴절율 매질의 어드미턴스이다. 식 (15)는 흡수와 산란에 의한 손실이 없을 경우에 대하여 성립하고 일정한 어드미턴스에서 층수가 많을수록 반사율이 커짐을 알 수 있다. 또, 일정한 층수에서 어드미턴스 즉, 굴절율 차이가 클수록 반사율은 커짐을 알 수 있다. 실제 제작된 sample의 반사율은 흡수와 각 층의 경계에서 산란에 의한 손실에 의하여 많은 영향을 받는다.

MBE 장치등의 개발로 반도체를 성장하여 다층박막 구조를 가진 거울 제작이 가능해짐에 따라 Fabry Perot etalon 구조에서 양 쪽 거울을 반도체를 성장하여 만든 다층박막 구조로 제작하고 그 사이에 반도체로 구성된 spacer 층을 두는 반도체 집적 거울 etalon이 출현하였다. 성장된 집적 거울 etalon의 동작 특성은 거울의 경우와 마찬가지로 각 층의 특성 행렬을 곱하여 계산한 식 (10)의 etalon 특성 벡터로부터 식 (12)의 투과율 특성을 구할 수 있다. Fabry-Perot etalon은 신호 펄스의 파장이 spacer 층에서 정현파를 형성하는 경우에 투과율이 최대가 되는 동작 특성을 가진다. 이러한 etalon의 동작 특성과 특정 파장 영역에서 흡수율이 최대가 되는 반도체의 특성을 이용하여 광스위칭과 레이저 등에 응용할 수 있다. 반도체 etalon에서 신호 펄스가 입사되면 spacer

구성 매질인 반도체가 신호 펄스를 흡수하여 투과율이 거의 영으로 되어 off 상태가 되고 제어 펄스을 입사하여 반도체를 포화 상태로 만든 다음 신호 펄스를 입사하면 on 상태로 바꿀 수 있다. 이러한 동작 특성으로 반도체 etalon을 광스위칭 소자로 활용할 수 있다. 그리고, 집적 거울 etalon을 표면 발진 레이저(surface-emitting laser)로 응용하는 경우에는 펌핑 펄스로 spacer 층의 반도체에서 전자-정공 쌍을 발생시킨 이후에 재결합으로 생성되는 특정 파장의 광자(photon)를 증폭하여 발진을 유도한다. 증폭 파장은 spacer 층의 광학적 두께로 결정할 수 있다.

Ⅲ. 피크 투과율 공식과 최대 투과율 조건의 유도

Quarter-wave stack 구조를 가지는 거울에서 높은 굴절율 층과 낮은 굴절율 층에서의 경로에 의한 위상 변화는 각각 $\pi/2$이고, 피크 투과율에서는 spacer의 광학적 두께가 반파장의 정수배가 되어야 한다. 이 때 위상차는 $m\pi$이다. 즉,

$$\delta_H = \delta_L = \pi/2 \tag{16}$$

$$\delta_{sp} = m\pi \tag{17}$$

이고 여기서, m는 정수이다. 높은 굴절율 층과 낮은 굴절율 층의 특성 행렬 A_H, A_L을 각각 구하면

$$A_H = \begin{bmatrix} 0 & i/Y_H \\ iY_H & 0 \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$A_L = \begin{bmatrix} 0 & i/Y_L \\ iY_L & 0 \end{bmatrix} \tag{19}$$

와 같고 spacer 층의 특성 행렬 A_{sp}를 구하면

$$A_{sp} = \begin{bmatrix} (-1)^m & 0 \\ 0 & (-1)^m \end{bmatrix} \tag{20}$$

과 같다. 상위 거울에서 단일쌍의 특성 행렬 $A_H A_L$을 구하면

$$A_H A_L = \begin{bmatrix} 0 & i/Y_L \\ iY_L & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & i/Y_H \\ iY_H & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_L/Y_H & 0 \\ 0 & -Y_H/Y_L \end{bmatrix} \tag{21}$$

이다. 또, 이로부터 상위 거울이 p 층(p는 짝수)으로 되어 있을 경우의 특성 행렬 $(A_H A_L)^{p/2}$을 구하면

$$(A_H A_L)^{p/2} = \begin{bmatrix} (-Y_L/Y_H)^{p/2} & 0 \\ 0 & (-Y_H/Y_L)^{p/2} \end{bmatrix} \tag{22}$$

와 같다. 마찬가지로, q 층(q는 짝수)의 하위 거울 특성 행렬 $(A_L A_H)^{q/2}$은

$$(A_L A_H)^{q/2} = \begin{bmatrix} (-Y_H/Y_L)^{q/2} & 0 \\ 0 & (-Y_L/Y_H)^{q/2} \end{bmatrix} \tag{23}$$

와 같이 표현할 수 있다. 이렇게 구한 양 쪽 다층박막 거울과 spacer 층의 특성 행렬로 etalon의 특성 벡터 $[B\ C]^t$을 구하면

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = (A_H A_L)^{p/2} A_{sp} (A_L A_H)^{q/2} \begin{bmatrix} 1 \\ Y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-Y_H/Y_L)^{(q-p)/2} \\ (-Y_L/Y_H)^{(q-p)/2} Y_s \end{bmatrix} \tag{24}$$

와 같다. etalon의 특성 벡터 식 (24)를 이용하여 등가적인 어드미턴스 Y_{eq}를 구하면

$$Y_{eq} = \frac{C}{B} = (Y_L/Y_H)^{q-p} Y_s \tag{25}$$

와 같다. 식 (25)의 etalon 등가 어드미턴스를 이용하여 etalon의 반사율 R을 구하면

$$R = \left[\frac{Y_a - Y_{eq}}{Y_a + Y_{eq}}\right]\left[\frac{Y_a - Y_{eq}}{Y_a + Y_{eq}}\right]^* = \left[\frac{Y_a - (Y_L/Y_H)^{q-p} Y_s}{Y_a + (Y_L/Y_H)^{q-p} Y_s}\right]^2 \tag{26}$$

와 같이 되고, 흡수가 없을 경우에 etalon의 피크 투과율 T는

$$T = 1 - R = \frac{4 Y_a Y_s (Y_H/Y_L)^{q-p}}{[Y_s + Y_a (Y_H/Y_L)^{q-p}]^2} \tag{27}$$

으로 유도할 수 있다. 식 (27)의 피크 투과율 공식에 의하면, 투과율의 피크 값은 다층박막 거울의 층수에는 무관하고, 단지 양 쪽 다층박막 거울의 층수 차이 q−p에만 관련된다. 동작 파장 $\boldsymbol{\lambda}_0$를 quarter-wave 조건에 의해서 구하면

$$\mathbf{n}_H d_H \cos\theta_H + \mathbf{n}_L d_L \cos\theta_L = \boldsymbol{\lambda}_0/2 \tag{28}$$

와 같다. 여기서, $\mathbf{n}_H(\mathbf{n}_L)$는 높은(낮은) 굴절율 매질

의 굴절율이고, d_H(d_L)는 높은(낮은) 굴절율 층의 두께이다. 그리고, θ_H(θ_L)는 높은(낮은) 굴절율 층에서의 굴절각이다. 식 (27)의 피크 투과율 공식을 층수 차이 q-p에 대하여 미분하여 etalon이 최대의 피크 투과율에서 동작할 수 있는 최적의 양쪽 다층박막 층수 차이를 구할 수 있다. 이렇게 유도한 최대 투과율 조건을 최적의 층수 차이 $(q-p)^*$를 구하면[7]

$$(q-p)^* = \frac{\log(Y_s/Y_0)}{\log(Y_H/Y_L)} \qquad (29)$$

과 같다. 식 (29)에 의하면, 최대 투과율 조건은 높은 굴절율 층과 낮은 굴절율 층의 어드미턴스 비율에 의하여 결정된다는 것을 알 수 있다. 이렇게 구한 최적의 층수 차이 $(q-p)^*$에서 etalon은 양쪽 다층박막 거울의 반사율이 거의 같게 되어, 피크 투과율은 거의 1이 된다. 이 공식에 의한 최적의 층수 차이 $(q-p)^*$는 정수가 아니므로 가장 가까운 정수를 택한다. 식 (27)과 식 (29)를 양 쪽 거울의 층수가 짝수인 경우에 유도하였지만, 피크 투과율과 최대 투과율 조건은 표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 다른 유형의 거울 구조를 가진 etalon에서도 유사하게 유도할 수 있다. 표 1에서 주어지는 네가지 유형중 하나를 spacer 층과 기판의 굴절율과 거울을 구성하는 매질의 굴절율을 고려하여 응용 분야에 적합하게 선택할 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과와 최대 투과율 조건에서의 투과율

입사각에 대한 피크 투과율의 변화를 피크 투과율 공식에 의하여 나타내고 최대 투과율 조건에서의 etalon의 동작 특성을 조사한다. 각 층의 매질은 참고 문헌 [7]에서와 같은 것으로 한다. 동작 파장은 광섬유에서 분산이 최소로 되는 영역인 1.3㎛로 선택하고 동작 파장에서 투명한 InP 기판을 사용한다. Spacer 층을 35-Å well과 58-Å의 barrier로 이루어진 $Ga_{0.47}In_{0.53}As/Al_{0.48}In_{0.52}As$ multi-quantum well 구조로 하였다. Spacer의 광학적 두께는 반파장의 다섯 배로 하였고, 거울은 높은 굴절율 층을 $Ga_{0.33}Al_{0.15}In_{0.52}As$로 하고 낮은 굴절율 층을 $Al_{0.48}In_{0.52}As$로 하는 quarter-wave stack 구조로 하였다. 이들 두 물질의 굴절율 차이는 파장에 따라 변하지만 동작 파장 근처에서 0.25 정도이다[10,11].

이와 같은 구조를 가진 집적 거울 etalon(interated-mirror etalon)의 표면에 수직으로 입사하는 것과 비스듬하게 입사하는 경우를 TE wave와 TM wave의 두가지로 구분하여 분석하였다. 시뮬레이션에는 각 층의 굴절율이 파장에 따라 변하는 것으로 하였다. 식 (8)에서 예측할 수 있는 것과 같이 etalon 피크는 입사각이 커짐에 따라 단파장으로 이동한다. 그리고, 식 (27)의 피크 투과율 공식에 의하면 입사각에 대한 피크 투과율은 TM wave에서는 커지고

표 1. 4가지 유형의 etalon 구조에서 피크 투과율 T_p와 최대 투과율 조건. H, L, 그리고 S는 각각 높은 굴절율 층과 낮은 굴절율 층, 그리고 spacer 층을 표현한다.

Table. 1. Peak transmission T and the condition for maximum transmission in etalons of 4 types of mirror structures. H, L, and S represent high-index, low-index, and spacer layer, respectively.

type	T	$(q-p)^*$
air| $(HL)^{p/2}S(LH)^{q/2}$ |substrate	$\frac{4Y_aY_s(Y_H/Y_L)^{q-p}}{[Y_s+Y_a(Y_H/Y_L)^{q-p}]^2}$	$\frac{\log(Y_s/Y_a)}{\log(Y_H/Y_L)}$
air| $(HL)^{p/2}S(LH)^{q/2}L$ |substrate	$\frac{4Y_aY_sY_L^2(Y_H/Y_L)^{q-p}}{[Y_L^2+Y_aY_s(Y_H/Y_L)^{q-p}]^2}$	$\frac{\log(Y_L^2/Y_aY_s)}{\log(Y_H/Y_L)}$
air| $(HL)^{p/2}HS(HL)^{q/2}$ |substrate	$\frac{4Y_aY_sY_H^2(Y_H/Y_L)^{q-p}}{[Y_H^2+Y_aY_s(Y_H/Y_L)^{q-p}]^2}$	$\frac{\log(Y_H^2/Y_aY_s)}{\log(Y_H/Y_L)}$
air| $(HL)^{p/2}HSH(LH)^{q/2}$|substrate	$\frac{4Y_aY_s(Y_H/Y_L)^{q-p}}{[Y_s+Y_a(Y_H/Y_L)^{q-p}]^2}$	$\frac{\log(Y_s/Y_a)}{\log(Y_H/Y_L)}$

TE wave에서는 작아진다. 최적의 층수 차이는 식 (29)에 의하여 TM wave에서는 작아지고 TE wave에서는 커진다. 그림 2는 이러한 사실을 나타내고 있

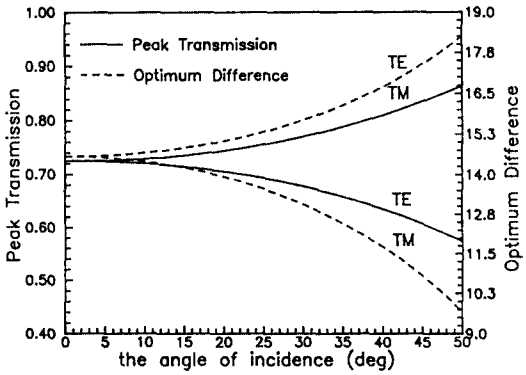

그림 2. 입사각에 대한 피크 투과율(p=q=24 일 때)과 최적의 층수 차이의 변화.

Fig. 2. Peak transmission and optimum layer-number difference vs the angle of incidence. p=q=24.

다. 이 현상은 기판의 어드미턴스가 입사각에 대하여 TE wave에서는 감소하고 TM wave에서는 증가하기 때문에 나타난다. TM wave의 경우에 입사각이 증가함에 따라 피크 투과율이 1이 되는 어떤 각이 존재하게 되어 단일 경계에서의 Brewster 각을 알 수 있다. 이것을 이용하여 거울의 층수를 될 수 있는 대로 줄이면서 피크 투과율이 최대로 할 수 있다. 수직 입사일 때 최대 투과율 조건 식 (29)은

$$(q-p)^* = \frac{\log \mathbf{n}_s}{\log(\mathbf{n}_H/\mathbf{n}_L)} \qquad (30)$$

로 된다. 여기서, $\mathbf{n}_s$는 기판의 굴절율이다. 최대 투과율 조건인 식 (30)에의한 최적의 층수 차이 $(q-p)^*$는 14.6이므로 그림 3에서 볼 수 있는 것과같이 가장 가까운 정수 14의 층수 차이에서 투과율이 최대가 됨을 알 수 있다. Sample의 구조가 m=5, p=24, 그리고 q=38일 때, 그림 4에서와 같이 계산에 의한 투과율은 동작 파장 1.3 ㎛에서 99.9%의 피크 투과율 특성을 나타낸다.

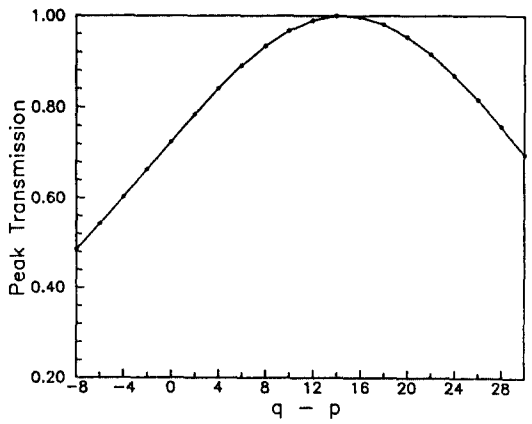

그림 3. 수직 입사하는 빔에 대한 피크 투과율 대 층수 차이 q-p.

Fig. 3. Peak transmission vs difference in the layer number q-p.

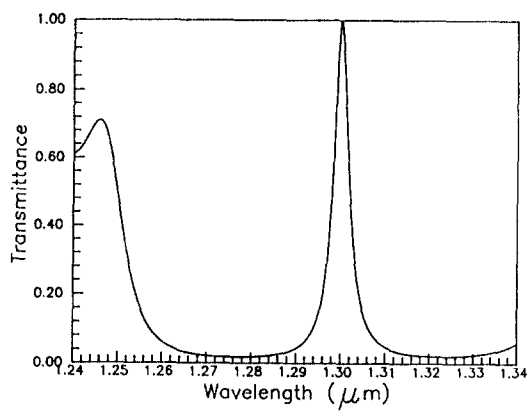

그림 4. 최대 투과율 조건에서 etalon의 투과율 특성.

Fig. 4. Transmission spectrum of an etalon at the condition of maximum transmission.

V. 결 론

이상에서 spacer 층의 흡수를 무시하는 경우에 피크 투과율 공식과 최대 투과율 조건으로써 최적의 층수 차이를 구하는 공식을 제안한다. 이 공식으로 입사각에 대한 etalon의 피크 투과율를 간단히 구할 수 있고, 최적의 층수 차이도 간단히 알 수 있다. 이 공식을 이용하면 최적 조건을 구하기 위하여 층수를 하나씩 증가시키는 반복적인 방법을 사용하지 않고 최적의 층수 차이를 알 수 있다. 그리고, 최적의 층수

차이는 단지 각 층의 어드미턴스에 의해서만 설정됨을 알 수 있다. 최대 투과율은 두 다층박막 거울의 층수와는 무관하고 층수의 차이에만 의존함을 알 수 있다. 양 쪽 다층박막 거울의 층수가 홀수일 때도 마찬가지로 피크 투과율과 최대 투과율 조건을 구할 수 있다. 위의 공식은 etalon의 구성 물질에 상관없이 보편적으로 적용되므로 매우 유용할 것이다.

참 고 문 헌

1. Melles Griot, Optics Guide 4, Melles Griot Co., 1990.
2. P.L. Gourley, R.M. Biefeld, T.J. Drummond, and T.E. Zipperian, "Epitaxial semiconductor optical interference devices," SPIE Quantum well and Superlattice Phys., vol.792, pp.178-188, 1987.
3. T. Sakaguchi, E. Koyama, and K. Iga, "Vertical cavity surface-emitting laser with an AlGaAs/As Bragg reflector," Electron. Lett., vol.24, no.15, pp.928-929, July, 1988.
4. 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, August, 1989.
5. 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, october, 1990.
6. G. Khitrova, T. Iwabuchi, C.L. Chuang, and T. Yoon, "Integrated-mirror etalons for 1.3 μm operation grown by molecular-beam epitaxy," J. Appl. Phys., vol.69, no.9, pp.6704-6706. May, 1991.
7. 정종술, 윤대훈, 김재창, "Integrated-mirror etalon에서 최대 피크 투과율을 위한 조건," 대한전자공학회 하계종합학술발표대회논문집, 14권 1호, pp.523-526, 6월, 1991.
8. S. Ramo, J. R. Whinnery, and, T. V. Duzer, Fields and Waves in Communication Elecrtonics 2nd Ed.(John Willy & Son, New York, 1965).
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 multiquantum-well layers grown by molecular-beam epitaxy," J. Appl. Phys., vol.63, no.2, pp.479-483, January, 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, December, 1989.

정 종 술(Jong Sool Jung) 정회원
1968년 5월 20일생
1990년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업
1992년 2월 : 부산대학교 전자공학과 석사학위 취득
현재 : 한국전자통신연구소 기초기술연구부 재직
※주관심분야 : 광스위칭 및 레이저 소자와 광집적회로, Waveguide Hologram 등임.

김 재 창(Jae Chang Kim) 정회원
1946년 2월 28일생
1969년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1974년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 석사
1979년 8월 : 알라바마대학교 대학원 전기공학과 석사
1981년 8월 : 알라바마대학교 대학원 전기공학과 Ph.D.
1975년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
※주관심분야 : 광집적회로, 광전자공학, 신경회로망분야

尹 台 熏(Tae Hoon Yoon) 정회원
1956년 8월 24일생
1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1986년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
1986년 11월 ~ 현재 : 부산대학교 전자공학과 조교수
※주관심분야 : 반도체 레이저, 광스위칭, 집적광학