

論文96-33A-7-23

위상 천이 조정 DFB 파장 가변 필터의 투과 증폭 스펙트럼에 관한 이론적 해석

(Theoretical Analysis of the Transmission Gain Spectrum of a Phase-shift-controlled DFB Tunable Filter)

金 富 均 *, 丁 基 碩 *, 李 奉 永 **

(Boo-Gyoun Kim, Ki Suk Jeung, and Bong Young Lee)

요 약

Index coupling 과 gain coupling 을 동시에 고려할 수있는 complex coupled 회절 격자를 가지며, 양 단면 반사와 회절 격자의 위상이 고려된 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼에 관한 식을 전달 행렬 방법을 사용하여 유도한다. 위상 천이 조정 영역에서의 위상 천이와 각 회절 격자의 위상의 차이의 합으로 정의되는 유효 위상 천이 파라메타를 도입하여 투과 이득 스펙트럼식에 포함되는 파라메타의 수를 줄인다. 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식을 유도하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 관계식의 유효성을 확인한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 양 단면 무반사 코팅을 하였을때가 필터의 특성이 가장 좋았다. 이중 회절 격자가 index coupling 만을 가지는 경우가 파장 가변 영역이 가장 넓었으며, gain coupling 만을 가지는 경우가 인접 모드 억압비가 가장 컸다.

Abstract

We derive the analytic equations for the transmission gain spectrum of a phase shift controlled (PSC) DFB filters with complexed coupled gratings considering both facet reflections and the phase of gratings using the transfer matrix method. The number of parameters of the equations is reduced by using the parameter of effective phase shift defined by the sum of the phase shift in a PSC region and the difference of the phase of a grating in each active region. We derive the equations showing the effect of both facets reflections and the effective phase shift on the transmission gain spectrum and verify the validity of those equations from the computer simulation results. Computer simulation results show the PSC DFB filter with two antireflection coated facets have the best characteristics. Among those, the filter with a pure index coupled grating has the widest tunable range and that with a pure gain grating has the largest side mode suppression ratio.

I. 서 론

광의 매우 넓은 대역폭을 효과적으로 이용할수있는

* 正會員, 崇實大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., SoongSil University)

** 正會員, 韓國通信 研究開發本部

(Korea Telecom Research Laboratories)

接受日字: 1995年9月28日, 수정완료일: 1996年5月15日

B-ISDN system 의 구현을 위해서 현실적으로 알맞은 다중화 방식은 파장 다중화 방식 (WDM) 으로 알려져 있다. 파장 다중화 방식을 사용한 광통신 시스템의 구현을 위해서는 파장 가변 필터가 필수적으로 요구되어진다^{1,2)}.

여러 형태의 파장 가변 필터가 연구되어 왔으며, 그 중에서도 반도체 파장가변 필터는 동조 속도가 빠르고 대역폭이 좁으며 다른 반도체 소자들과 함께 하나의

집적회로를 만들 수 있다는 장점을 가지고 있다^[3]. 특히 다중 전극 DFB 구조나 DBR 구조를 사용한 파장 가변 필터에 관심이 집중되고 있다. 이러한 형태의 파장 가변 필터는 일반적으로 단일 전극으로 제작된 소자보다 파장 가변 영역이 넓고 투과 증폭율과 중심 파장을 독립적으로 제어할 수 있다는 장점이 있어 많은 연구가 수행되고 있다^[4~6]. 특히 단일 모드 동작을 위해 feedback을 구현하는 coupling mechanism 이 전체의 진행 방향에 따라 굴절율이 주기적으로 변하는 구조를 가지는 index coupling 과 gain 회절 격자 또는 손실 회절 격자를 이용하여 도파관의 횡적 gain 분포를 주기적으로 변화시키는 gain coupling 이 결합된 complex coupled 구조 소자에 대한 연구가 진행되고 있다^[7,8].

본 논문에서는 Numai 가 제안한 파장 가변 영역이 비교적 넓고 증폭율과 파장을 독립적으로 제어할 수 있으며 다른 다중 전극 파장 가변 필터에 비하여 비교적 제작이 용이하고 신뢰성이 높은 위상 천이 조정 DFB 필터^[9]의 투과 이득 스펙트럼에 관하여 연구하였다. 2 장에서는 index coupling 과 gain coupling 을 동시에 고려할 수 있는 complex coupled 회절 격자를 가지며 양 단면 반사와 회절 격자의 위상이 미치는 효과가 고려된 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼에 관한 식을 전달 행렬 방법을 사용하여 유도한다. 3 장에서는 유도된 투과 이득 스펙트럼의 식에 위상 천이 조정 영역에서의 위상 천이와 각 회절 격자의 위상 차이의 합으로 표현되는 유효 위상 천이 파라메타를 도입하여 식을 간략화하며, 투과 이득 스펙트럼 식에 포함되는 파라메타들의 수를 줄인다. 또한 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식을 유도한다. 유도된 관계식으로부터 투과 이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 관하여 대칭 또는 mirror image 를 가지는 양 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이간의 관계를 구한다. 그 결과 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 알 수 있으며 또한 연구되어야 할 투과 이득 스펙트럼의 수를 줄였다. 4 장에서는 양 단면 모두 무반사 코팅, 한 단면은 무반사 코팅 다른 단면은 절개면, 양 단면 모두 절개면을 가지는 3 가지 경우에 대하여, 양 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이의 위상을 각각 $\pi/2$ 만큼 변화시키며 위상 천이 조정 DFB 파장 가변 필터의

투과 이득 스펙트럼들을 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. 그 결과 유효 위상 천이가 위상 천이 조정 영역에서 발생하는 위상 천이와 같은 효과를 가짐을 확인하였다. 또한 양 단면 모두 무반사 코팅을 하였을 때 필터의 특성이 가장 좋았다. 5 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 필터의 투과 이득 스펙트럼에 관한 식 유도

본 논문에서 연구한 3 전극 소자인 위상 천이 조정 DFB 파장가변 필터의 구조는 그림 1 과 같다. 위상 천이 조정 DFB 필터의 구조는 가운데에 활성층 영역이 없는 위상 천이 조정 영역이 있고 그 양쪽으로 회절 격자를 가지는 활성층 영역이 있다. 위상 천이 조정 영역에 주입되는 전류를 변화시키면 도파관내에 캐리어 밀도가 변화하며, free carrier plasma 효과에 의해 굴절율이 변화하게 된다. 이러한 굴절율의 변화가 위상 천이 조정 영역에서의 위상 천이 값을 변화시켜 중심 파장을 변화시킨다. 양쪽의 활성층 영역에 주입되는 전류를 변화시켜 필터의 투과 증폭율을 변화시킨다.

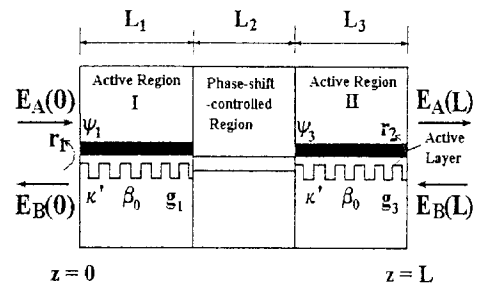


그림 1. 위상 천이 조정 DFB 필터의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of a PSC DFB filter.

양 끝면에서의 반사를 고려하지 않은 그림 1 과 같은 위상 천이 조정 DFB 파장 가변 필터의 전달 행렬은 각 영역에서의 전달 행렬의 곱들로서 다음과 같이 표현된다.

$$F = F^3 \cdot F^2 \cdot F^1 \quad (1)$$

식 (1) 에 표현된 전달 행렬 중 회절 격자가 존재하며 이득을 가지는 양쪽의 활성층 영역에서의 전달 행렬 F^k ($k = 1, 3$) 각각의 요소 성분은 다음과 같이 표현된다^[10].

$$\begin{aligned}
 F_{11}^k(z-z_k) &= \{ \cosh[S_k(z-z_k)] - \\
 &\quad i\delta'_k \sinh[S_k(z-z_k)]/S_k \} \exp[-i\beta_{0k}(z-z_k) \\
 F_{12}^k(z-z_k) &= \{ -ix'_k \sinh[S_k(z-z_k)] \exp(-i\psi_k)/S_k \} \\
 &\quad \exp[-i\beta_{0k}(z+z_k)], \\
 F_{21}^k(z-z_k) &= \{ ix'_k \sinh[S_k(z-z_k)] \exp(i\psi_k)/S_k \} \\
 &\quad \exp[i\beta_{0k}(z+z_k)], \\
 F_{22}^k(z-z_k) &= \{ \cosh[(S_k(z-z_k)] + i\delta'_k \sinh \\
 &\quad [S_k(z-z_k)]/S_k \} \exp[i\beta_{0k}(z-z_k)] \quad (2)
 \end{aligned}$$

여기서 $S_k^2 = x'^2_k - \delta'^2_k$, $x'_k = x_k - if_k$ 이며 $\delta'_k = \delta_k + ig_k$ 이다. 그리고 각 영역에서 정의 되는 파라메타 x_k 는 index coupling 계수, f_k 는 gain coupling 계수, $\delta_k = \beta_k - \beta_{0k}$ 는 Bragg 주파수, β_{0k} , 로부터의 변이이며, g_k 는 알짜 필드 증폭 계수이다.

또한 회절 격자가 존재하지 않는 위상 천이 조정 영역의 특성을 나타내는 전달행렬 F^2 의 각 원소는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 F_{11}^2 &= \exp[-i(\delta_2 + \beta_{02})L_2], \quad F_{22}^2 = 1/F_{11}^2, \\
 F_{12}^2 &= F_{21}^2 = 0 \quad (3)
 \end{aligned}$$

ψ_1 은 $z=0$ 에서 시작되며 길이가 L_1 인 회절격자의 위상을 나타내며 ψ_3 는 $z=L_1+L_2$ 에서 시작되며 길이가 L_3 인 회절격자의 위상을 나타낸다. 회절 격자의 위상 ψ 는 참고 문헌 10의 그림 2 와 같이 정의하였다. 또한 실제로 활성층 영역 II 에 존재하는 회절격자의 시작점 ($z=L_1+L_2$) 에서 발생하는 회절격자의 위상을 ψ 라 하면 ψ_3 와 실제위상 ψ 의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$\psi_3 = \psi - 2\beta_{0m}(L_1+L_2) \quad (4)$$

여기서 m 은 회절격자의 차수이다.

양 단면의 반사계수 r_1 과 r_2 를 그림 1 과 같이 정의하면 위상 천이 조정 DFB 필터의 입력단 ($z=0$)에서의 전계 $E_A(0)$, $E_B(0)$ 와 출력단 ($z=L$)에서의 전계 $E_A(L)$, $E_B(L)$ 사이의 관계는 각 영역에서의 전달 행렬 들의 곱으로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} E_A(0) \\ E_B(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/t_1 & r_1/t_1 \\ r_1/t_1 & 1/t_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11}(-L) & F_{12}(-L) \\ F_{21}(-L) & F_{22}(-L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/t_2 & r_2/t_2 \\ r_2/t_2 & 1/t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_A(L) \\ E_B(L) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 t_1 과 t_2 는 각각 $z=0$ 과 $z=L$ 에서의 투과 계수이며 $F_{11}(-L)$, $F_{12}(-L)$, $F_{21}(-L)$ 과 $F_{22}(-L)$ 은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 F_{11}(-L) &= \exp(i\beta_0 L) \left[\cosh(S_1 L_1) + \frac{(-g_1 + i\delta)L_1}{SL_1} \sinh(S_1 L_1) \right] \cdot \\
 &\quad \left[\cosh(S_3 L_3) + \frac{(-g_3 + i\delta)L_3}{SL_3} \sinh(S_3 L_3) \right] \exp(i\delta L_2) \cdot \\
 &\quad \exp(-g_2 L_2) + \frac{x'_1 x'_3 L_1 L_3}{S_1 S_3 L_1 L_3} \sinh(S_1 L_1) \sinh(S_3 L_3) \cdot \\
 &\quad \exp\{i(\psi_3 - \psi_1)\} \exp(-i\delta L_2) \exp(g_2 L_2) \\
 F_{12}(-L) &= \exp(-i\beta_0 L) \left[-\frac{ix'_1 L_1 \exp(-i\psi_1)}{S_1 L_1} \sinh(S_1 L_1) \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left[\cosh(S_3 L_3) - \frac{(-g_3 + i\delta)L_3}{S_3 L_3} \sinh(S_3 L_3) \right] \cdot \right. \\
 &\quad \left. \exp(-i\delta L_2) \exp(g_2 L_2) + \frac{ix'_3 L_3 \exp(-i\psi_3)}{S_3 L_3} \sinh(S_3 L_3) \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left[\cosh(S_1 L_1) + \frac{(-g_1 + i\delta)L_1}{S_1 L_1} \sinh(S_1 L_1) \right] \cdot \right. \\
 &\quad \left. \exp(i\delta L_2) \exp(-g_2 L_2) \right] \\
 F_{21}(-L) &= \exp(i\beta_0 L) \left[\frac{ix'_1 L_1 \exp(i\psi_1)}{S_1 L_1} \sinh(S_1 L_1) \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left[\cosh(S_3 L_3) + \frac{(-g_3 + i\delta)L_3}{S_3 L_3} \sinh(S_3 L_3) \right] \cdot \right. \\
 &\quad \left. \exp(i\delta L_2) \exp(-g_2 L_2) + \frac{ix'_3 L_3 \exp(i\psi_3)}{S_3 L_3} \sinh(S_3 L_3) \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left[\cosh(S_1 L_1) - \frac{(-g_1 + i\delta)L_1}{S_1 L_1} \sinh(S_1 L_1) \right] \cdot \right. \\
 &\quad \left. \exp(-i\delta L_2) \exp(g_2 L_2) \right] \\
 F_{22}(-L) &= \exp(-i\beta_0 L) \left[\cosh(S_1 L_1) - \frac{(-g_1 + i\delta)L_1}{SL_1} \sinh(S_1 L_1) \right] \cdot \\
 &\quad \left[\cosh(S_3 L_3) - \frac{(-g_3 + i\delta)L_3}{SL_3} \sinh(S_3 L_3) \right] \exp(-i\delta L_2) \cdot \\
 &\quad \exp(g_2 L_2) + \frac{x'_1 x'_3 L_1 L_3}{S_1 S_3 L_1 L_3} \sinh(S_1 L_1) \sinh(S_3 L_3) \cdot \\
 &\quad \exp\{-i(\psi_3 - \psi_1)\} \exp(i\delta L_2) \exp(-g_2 L_2) \quad (6)
 \end{aligned}$$

여기서 L 은 위상 천이 조정 DFB 필터의 길이로서 $L_1+L_2+L_3$ 로 주어지며 L_2 는 위상 천이 조정 영역의 길이이다. g_1 , g_2 와 g_3 는 각 영역에서의 알짜 필드 증폭 계수이다.

위상 천이 조정 DFB 필터의 출력단에 입사되는 전계 $E_B(L)$ 이 없다는 조건을 도입하면 필터의 투과율은 다음과 같이 주어진다.

$$T = |t|^2 = \frac{(1 - |r_1|^2)(1 - |r_2|^2)}{|F_{11}(-L) + r_2 F_{12}(-L) + r_1 F_{21}(-L) + r_1 r_2 F_{22}(-L)|^2} \quad (7)$$

여기서 $t = E_A(L)/E_A(0)$ 은 투과계수이다.

식 (7) 에서보면 투과이득 스펙트럼 T 의 파장에 따른 변화는 분모에 나타난 수식에 의해 결정되므로 분모를 다음과 같이 정의한다.

$$F(-L) = F_{11}(-L) + r_1 F_{21}(-L) + r_2 F_{12}(-L) + r_1 r_2 F_{22}(-L) \quad (8)$$

본 논문에서의 연구는 양 활성층영역에서의 특성과 길

이가 같은 일반적인 위상 천이 조정 DFB 필터에 대한 해석이다. 또한 위상 천이 조정영역에서의 위상천이 $2\delta L_2$ 를 Ω 라 하고 알짜 필드 증폭 계수 g_2 를 '0' 라 하면 식 (8)에서 정의된 $F(-L)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 (SL_a)^2 \exp(-i\beta_0 L)F(-L) = & \\
 & [SL_a \cosh(SL_a) + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(i\Omega/2) \\
 & + [x' L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp\{i(\psi_3 - \psi_1)\} \exp(-i\Omega/2) \\
 & - ix' L_a r_1 \exp(i\psi_1) \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp(i\Omega/2) \\
 & - ix' L_a r_1 \exp(i\psi_3) \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp(-i\Omega/2) \\
 & + ix' L_a r_2 \exp[-i(\psi_1 + 2\beta_0 L)] \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp[-i\Omega/2] \\
 & + ix' L_a r_2 \exp[-i(\psi_3 + 2\beta_0 L)] \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp[i\Omega/2] \\
 & + r_1 r_2 \exp(-2\beta_0 L) \{ [SL_a \cosh(SL_a) - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)]^2 \\
 & \exp(-i\Omega/2) + [x' L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(-i(\psi_3 - \psi_1)) \exp(i\Omega/2) \} \quad (9)
 \end{aligned}$$

여기서 $L_a = L_1 = L_3$ 이고 $g_a = g_1 = g_3$ 로서 각각 양 활성층 영역의 길이와 평균 알짜 필드 증폭 계수이다.

III. 투과 이득 스펙트럼과 파라메타들간의 관계

위상 천이 조정 DFB 필터의 특성에 대하여 연구한다는 것은 식 (9) 로 주어지는 필터의 투과이득 스펙트럼에 포함된 모든 파라메타들 - $r_1, r_2, \psi_1, \psi_3, L, xL_a$ 및 Ω - 의 변화에 의하여 투과 이득 스펙트럼이 어떤 영향을 받는가를 연구하는 것이다. 따라서 투과 이득 스펙트럼을 나타내는 식에 포함된 파라메타들의 수를 가능한 줄여야 한다. 또한 파라메타들이 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 이해하고 연구되어야 할 투과 이득 스펙트럼의 수를 줄이기 위하여 파라메타들이 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식을 구해야 한다.

필터의 투과 이득 스펙트럼을 나타내는 식에 포함된 파라메타들의 수를 줄이기 위하여 각 활성층 영역에서의 회절 격자의 위상차와 위상 천이 조정 영역에서의 위상 천이와의 합으로 표현되는 유효 위상천이 Ω' 을 다음과 같이 정의한다.

$$\Omega' = \Omega + \psi_1 - \psi_3 \quad (10)$$

식 (10)을 이용하면 식 (9) 은 다음과 같이 간략히 표현할수 있다.

$$\begin{aligned}
 (SL_a)^2 \exp(-i\beta_0 L)F(-L) \exp[i(\psi_1 - \psi_3)/2] = & \\
 & [SL_a \cosh(SL_a) + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(i\Omega'/2) \\
 & + [x' L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(-i\Omega'/2) \\
 & - ix' L_a \hat{r}_1 \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp(i\Omega'/2) \\
 & - ix' L_a \hat{r}_1 \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp(-i\Omega'/2) \\
 & + ix' L_a \hat{r}_2 \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & + (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp[i\Omega'/2] \\
 & + ix' L_a \hat{r}_2 \sinh(SL_a) [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)] \exp[-i\Omega'/2] \\
 & + \hat{r}_1 \hat{r}_2 \{ [SL_a \cosh(SL_a) \\
 & - (-g_a + i\delta)L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(-i\Omega'/2) \\
 & + \hat{r}_1 \hat{r}_2 [x' L_a \sinh(SL_a)]^2 \exp(i\Omega'/2) \} \quad (11)
 \end{aligned}$$

여기서 \hat{r}_1 과 \hat{r}_2 은 각 영역에서 회절 격자의 위상이 고려된 단면반사계수로서 다음과 같다.

$$\hat{r}_1 = r_1 \exp(i\psi_1), \quad \hat{r}_2 = r_2 \exp[-i(\psi_3 + 2\beta_0 L)] \quad (12)$$

식 (11) 로부터 $|F(-L)|^2$ 은 유효 위상천이 Ω' 에 대하여 주기가 2π 인 함수임을 알 수있다. 식 (11)을 이용하여 양 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식을 회절 격자의 coupling 의 종류에 따라 다음과 같이 구하였다.

1. Index coupling 과 gain coupling 이 동시에 존재하는 경우;

Index coupling 과 gain coupling 이 동시에 존재하는 경우 결합 계수 $x' = x - if$ 이다. 식 (11) 에서 $\delta \rightarrow -\delta$ 이고 $x' \rightarrow x^*$ 이면 $S \rightarrow S^*$ 이다. 따라서 유효 위상천이 Ω' 가 $-\Omega'$ 이고 $\hat{r}_1 \rightarrow -\hat{r}_1^*$, $\hat{r}_2 \rightarrow -\hat{r}_2^*$ 이면 투과 이득스펙트럼 T는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$T(L, \delta, \hat{r}_1, \hat{r}_2, x', \Omega') = T(L, -\delta, -\hat{r}_1^*, -\hat{r}_2^*, x^*, -\Omega') \quad (13)$$

\hat{r}_1 , \hat{r}_2 와 x' 을 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 \mathcal{Q} 인 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼과 $-\hat{r}_1^*$, $-\hat{r}_2^*$ 와 x'^* 을 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 $-\mathcal{Q}$ 인 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼은 $\delta=0$ (Bragg 파장)에 관하여 mirror image 의 관계를 가진다.

2. Index coupling 만을 가지는 경우;

Index coupling 만을 가지는 경우의 결합 계수는 $x' = x'^* = x$ 이므로 (13)식은 다음과 같이 표시된다.

$$T(L, \delta, \hat{r}_1, \hat{r}_2, x, \mathcal{Q}) = T(L, -\delta, -\hat{r}_1^*, -\hat{r}_2^*, x, -\mathcal{Q}) \quad (14)$$

\hat{r}_1 과 \hat{r}_2 를 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 \mathcal{Q} 인 필터의 투과이득 스펙트럼과 $-\hat{r}_1^*$ 와 $-\hat{r}_2^*$ 를 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 $-\mathcal{Q}$ 인 필터의 투과이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 mirror image 의 관계를 가진다. 특히 $\hat{r}_1 = -\hat{r}_1^*$, $\hat{r}_2 = -\hat{r}_2^*$ 이고 $\mathcal{Q} = -\mathcal{Q}$ 인 경우는 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 대하여 대칭이다.

3. Gain coupling 만을 가지는 경우;

Gain coupling 만을 가지는 경우의 결합 계수는 $x' = -if$ 이므로 (13)식은 다음과 같이 표시된다.

$$T(L, \delta, \hat{r}_1, \hat{r}_2 - if, \mathcal{Q}) = T(L, -\delta, \hat{r}_1^*, \hat{r}_2^*, -if, -\mathcal{Q}) \quad (15)$$

\hat{r}_1 과 \hat{r}_2 를 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 \mathcal{Q} 인 필터의 투과이득 스펙트럼과 \hat{r}_1^* 와 \hat{r}_2^* 를 파라메타로 가지며 유효 위상 천이가 $-\mathcal{Q}$ 인 필터의 투과이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 mirror image 의 관계를 가진다. 특히 $\hat{r}_1 = \hat{r}_1^*$, $\hat{r}_2 = \hat{r}_2^*$ 이고 $\mathcal{Q} = -\mathcal{Q}$ 인 경우는 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 대하여 대칭이다.

IV. 결과 및 토의

위상 천이 조정 DFB 필터의 파장가변 특성을 알아보고 최적 파라메타 값들을 설정하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 필터의 양단면 반사계수 r_1 과 r_2 가 무반사 코팅과 절개면을 가지는 각 경우에 있어서 회절 격자의 coupling 의 종류에 따라 수행하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션에 사용한 파라메타들의 값은 다음과 같다. 위상 천이 조정 DFB 필터의 활성층 영역을

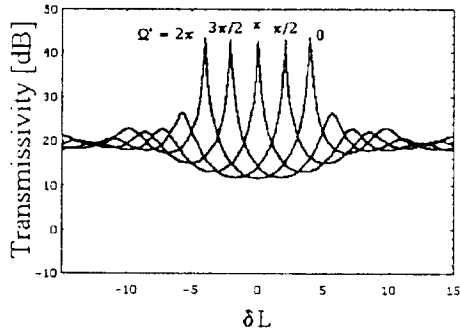
InGaAsP로, 필터가 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 에서 동작한다고 가정하여 절개면을 가지는 경우의 반사계수를 0.524 로, 위상 천이 조정 DFB 구조를 가진 소자가 필터로 동작하기 위해서 증폭 계수 g 를 문턱 증폭 계수 g_{th} 의 0.98로, coupling 세기는 $|2x'L_d| = 0.6$ 으로 설정하였다. 또한 유효 위상천이 \mathcal{Q} 를 0부터 2π 까지 $\pi/2$ 만큼씩 변화시키며 필터의 투과 이득 스펙트럼을 구하였다.

투과이득 스펙트럼은 유효 위상천이 \mathcal{Q} 에 대하여 주기가 2π 인 함수이므로 튜닝영역은 유효 위상천이가 2π 변화하는 동안 발생하는 주 모드의 파장의 최대 변화값으로 설정하였으며 이때 위상 천이 조정 DFB 필터의 길이는 $500 \mu\text{m}$ 라 가정하였다. 또한 필터의 대역폭은 최대 투과율보다 10 dB 작은 전폭(full width)으로 설정하였으며, 인접 모드 억압비(SMSR)는 주 모드와 side 모드의 투과 증폭율의 차이로 설정하였다.

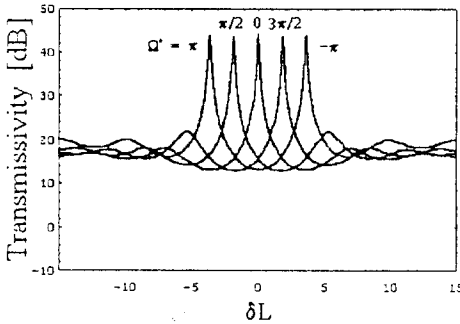
i) 양 끝단면에 모두 무반사 코팅을 한 경우;

이 경우 필터의 특성인 투과 이득 스펙트럼을 결정하는 $F(-L)$ 은 식 (11)에 $r_1 = r_2 = 0$ 를 대입함으로써 얻어진다. 양 끝단면에 모두 무반사 코팅을 한 경우 coupling 의 종류에 따른 투과이득 스펙트럼을 그림 2 에 보였다. 횡축은 Bragg 파장으로 부터의 변이 δ 와 위상 천이 조정 DFB 필터의 길이의 곱으로서 정규화된 주파수를 나타내고 종축은 투과증폭율을 나타내며 단위는 dB 이다.

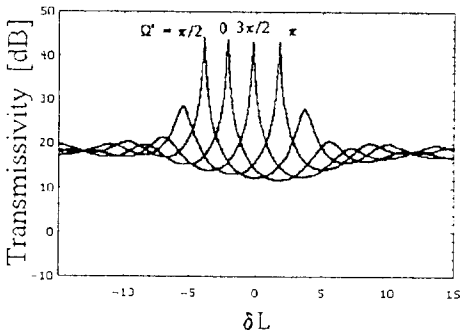
그림 2 (a) 는 index coupling 만을 가지는 경우로서 유효 위상천이 \mathcal{Q} 가 '0' 일때와 유효 위상천이 \mathcal{Q} 가 ' π ' 인 경우의 투과이득 스펙트럼은 식 (14)에서 알 수있듯이 Bragg 파장에 대하여 대칭이며, 유효 위상천이 $\mathcal{Q} = \pi/2$ 와 $\mathcal{Q} = 3\pi/2$ ($-\pi/2$) 인 경우는 Bragg 파장에 대하여 mirror image 임을 확인할 수 있다. $\mathcal{Q} = 0$ 이고 $\psi_1 = \psi_3$ 인 경우는 단 한개의 전극으로 구성된 DFB 구조 소자와 등가인 소자이며, 이는 그림 2 (a)에서 $\mathcal{Q} = 0$ 인 경우로서 저지 대역 (stop band)의 양쪽 끝에서 주 모드의 최대치가 발생함을 볼 수있다. $\mathcal{Q} = 0$ 이고 $\psi_1 - \psi_3 = \pi$ 인 경우는 위상 천이 조정 영역이 존재하지 않는 $\lambda/4$ 천이된 DFB 구조 소자와 등가인 소자로서, 이는 그림 2 (a)에서 $\mathcal{Q} = \pi$ 인 경우로서 Bragg 파장에서 주 모드의 최대치가 발생함을 볼 수있다. 따라서 우리가 정의한 유효 위상 천이중 각 DFB 영역에서의 회절 격자의 위상차 $\psi_1 - \psi_3$ 는 위상 천이 조정 영역에서의 위상천이와 등가임을 알 수있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 양 단면 모두 무반사 코팅을 가진 경우에 회절 격자의 coupling 의 특성에 따른 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼

Fig. 2. Transmission gain spectra of a PSC DFB filter with antireflection coatings on both facets for various coupling mechanisms of a grating.

그림 2 (b)는 gain coupling 만을 가지는 경우에 유효 위상천이 Ω' 값에 따라 도식한 투과이득 스펙트럼이다. 식 (15) 에서 알수 있듯이 유효 위상 천이 가 '0' 일때와 ' π ' 인 경우의 투과 이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 대칭이며 유효 위상 천이가 $\pi/2$ 일때와

$3\pi/2$ 일때의 투과 이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 mirror image 임을 확인할수 있었다. 또한 유효 위상 천이가 '0' 일때의 투과 이득 스펙트럼은 주 모드의 최대치가 Bragg 파장에서 발생함을 볼수있었으며 유효 위상 천이가 ' π ' 일때의 투과 이득 스펙트럼은 주 모드의 최대치가 저지 대역 양쪽 끝에서 발생함을 볼수있었다.

그림 2 (c)는 index coupling 의 크기와 gain coupling 의 크기가 같은 경우에 유효 위상천이 Ω' 값에 따라 도식한 투과이득 스펙트럼이다. 이때 투과이득 스펙트럼은 장파장 쪽으로 쏠려 있음을 볼 수 있었다. 또한 식 (13) 에서 알수있듯이 index coupling 만을 가지는 경우나 gain coupling 만을 가지는 경우와는 달리 Bragg 파장에 대하여 대칭인 투과 이득 스펙트럼이 존재하지 않으며 같은 소자 내에서는 투과 이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 대하여 mirror image 를 가지는 서로 다른 유효 위상 천이값은 존재하지 않음을 확인할수 있었다. 표1에 그림 2 의(a), (b) 와 (c) 의 투과이득 스펙트럼의 특성에 대하여 요약하였다.

표 1. 양단면이 모두 무반사 코팅을 한 경우 Coupling의 종류에 따른 필터특성 비교
Table 1. Comparison of the characteristics of filters with antireflection coatings on both facets for various coupling mechanisms of a grating.

	$2x'L_a = 0.6$	$2x'L_a = i0.6$	$2x'L_a = \frac{0.6}{\sqrt{2}}(1+i)$
파장 가변 영역 (nm)	1.89	1.72	1.51
주 모드의 최대치(dB)	42.6 ± 0.4	43.7 ± 0.01	43.3 ± 0.45
인접 모드 억압비(dB)	16 dB 이상	21 dB 이상	14 dB 이상
대역폭(GHz)	14.28	11.88	13.14

파장 가변 영역의 크기와 유효 위상천이 Ω' 의 변화에 따른 주 모드 크기의 최대치의 변화의 관점에서는 index coupling 만을 가지는 경우가 나머지 경우보다 우수하다 할 수 있고 인접 모드 억압비의 관점에서 보면 gain coupling 만을 가지는 경우가 나머지의 경우보다 우수하다 할 수 있다.

ii) 한 단면은 무반사 코팅을 하고 다른 단면은 절개면을 가지는 경우;

a) 입력단면은 무반사 코팅을 하고 출력단면은 절개면을 가지는 경우 ($r_1=0, r_2=r$)

Index coupling 만이 존재하는 경우에 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 식 (14)는 다음과 같이 표현된다.

$$T(L, \delta, x, \hat{r}_2, \mathcal{Q}') = T(L, -\delta, x, -\hat{r}_2^* - \mathcal{Q}') \quad (16)$$

\hat{r}_2 의 위상과 유효 위상천이 \mathcal{Q}' 이 투과 이득 스펙트럼에 주는 영향을 알아보기 위하여 각각 $\pi/2$ 만큼 변화시켜 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여야 할 경우의 수는 16 가지이나 표 2 에서 보는 것처럼 투과이득 스펙트럼의 Bragg 파장에 대한 mirror image 가 존재하기 때문에 독립적인 경우의 수는 10 가지가 존재하게 된다. 또한 10 가지 독립적인 경우중 $\hat{r}_2 = -\hat{r}_2^*$ 이고 $\mathcal{Q}' = -\mathcal{Q}'$ 인 4 가지의 경우에는 투과 이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 대칭이다.

표 2. Index coupling 만을 가지는 경우에 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 관한 mirror image 를 가지기 위한 \hat{r}_2 의 위상 및 유효위상천이 \mathcal{Q}' 의 관계

Table 2. The relation of the phases of \hat{r}_2 and \mathcal{Q}' for the transmission gain spectrum showing the mirror image with respect to the Bragg wavelength in the case of pure index coupling.

위 상		Bragg 파장에 관한 mirror image 를 가지는 위상	
\hat{r}_2	\mathcal{Q}'	$-\hat{r}_2^*$	\mathcal{Q}'
0	0	π	0
0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
0	π	π	π
0	$3\pi/2$	π	$\pi/2$
$\pi/2$	0	$\pi/2$	0
$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$
$\pi/2$	π	$\pi/2$	π
$3\pi/2$	0	$3\pi/2$	0
$3\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$	$3\pi/2$
$3\pi/2$	π	$3\pi/2$	π

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 위의 관계들이 성립함을

확인하였고 그 결과를 표 3 에 나타내었다.

표 3. 단면 반사가 $|\hat{r}_1|=0$ 이고 $|\hat{r}_2|=0.524$ 인 경우 가지는 필터에서 index coupling 만을 갖는 경우에 \hat{r}_2 의 위상에 따른 특성 분석

Table 3. Comparison of the characteristics of filters with facet reflections $|\hat{r}_1|=0$ and $|\hat{r}_2|=0.524$ for various phases of \hat{r}_2 in the case of pure index coupling.

\hat{r}_2 의 위상	$\pi/2$	$3\pi/2$	0
파장 가변 영역(nm)	1.35	1.80	1.15
주 모드의 최대치(dB)	37.44 ± 0.03	35.97 ± 0.47	34.96 ± 3.8
인접 모드 억압비(dB)	17.72dB 이상	12.42dB 이상	6.64dB 이상
대역폭 (GHz)	8.35	7.75	7.75

파장 가변 영역은 \hat{r}_2 의 위상이 $\pi/2$ 인 경우가 1.8nm 로서 가장 넓었고 \hat{r}_2 의 위상이 0인 경우가 1.15 nm로서 가장 작았다. 주 모드의 최대치는 세 경우 거의 비슷하였으며 \hat{r}_2 의 위상이 $\pi/2$ 인 경우가 최대치의 변화가 ± 0.03 dB 로서 가장 작았다. 인접 모드 억압비는 \hat{r}_2 의 위상이 $3\pi/2$ 인 경우가 17.72dB 이상으로서 가장 컸다. 또한 대역폭은 \hat{r}_2 의 위상이 $3\pi/2$ 인 경우가 8.35 GHz 로서 가장 컸고 나머지 두 경우는 7.75 GHz이었다.

Gain coupling 만이 존재하는 경우에 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 식 (15)는 다음과 같이 표현된다.

$$T(L, \delta, -if, \hat{r}_2, \mathcal{Q}') = T(L, -\delta, -if, \hat{r}_2^* - \mathcal{Q}') \quad (17)$$

Gain coupling 만을 가지는 경우도 Index coupling 만을 가지는 경우와 마찬가지로 \hat{r}_2 의 위상과 유효 위상천이 \mathcal{Q}' 의 위상을 $\pi/2$ 만큼 변화시켜 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 표 4 에서 보는 것처럼 투과이득 스펙트럼의 Bragg 파장에 대한 mirror image 가 존재하기 때문에 독립적인 경우의 수는 10 가지가 존재하게 된다. 또한 10 가지 독립적인 경우중 $\hat{r}_2 = \hat{r}_2^*$ 이고 $\mathcal{Q}' = -\mathcal{Q}'$ 인 네가지의 경우에 투과 이득 스펙트럼은 Bragg 파장에 대하여 대칭이다.

표 4. Gain coupling 만을 가지는 경우에 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 관한 mirror image 를 가지기 위한 \hat{r}_2 의 위상 및 유효위상천이 \mathcal{Q} 의 관계

Table 4. The relations of the phases of \hat{r}_2 and \mathcal{Q} for the transmission gain spectrum showing the mirror image with respect to the Bragg wavelength in the case of pure gain coupling.

위상		Bragg 파장에 관한 mirror image 를 가지는 위상	
\hat{r}_2	\mathcal{Q}	\hat{r}_2^*	$-\mathcal{Q}$
0	0	0	0
0	$\pi/2$	0	$3\pi/2$
0	π	0	π
$\pi/2$	0	$3\pi/2$	0
$\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$	$3\pi/2$
$\pi/2$	π	$3\pi/2$	π
$\pi/2$	$3\pi/2$	$3\pi/2$	$\pi/2$
π	0	π	0
π	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
π	π	π	π

또한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과들을 요약하여 표 5 에 보인다.

표 5. 단면 반사가 $|\hat{r}_1| = 0$ 와 $|\hat{r}_2| = -0.524$ 를 가지는 필터에서 gain coupling 만을 갖는 경우에 \hat{r}_2 의 위상에 따른 특성 분석

Table 5. Comparison of the characteristics of filters with facet reflections $|\hat{r}_1| = 0$ and $|\hat{r}_2| = 0.524$ for various phases of \hat{r}_2 in the case of pure gain coupling.

\hat{r}_2 의 위상	$3\pi/2$	π	0
파장 가변 영역(nm)	1.11	2.92	1.48
주 모드의 최대치(dB)	38.8 ± 0.6	37.31 ± 0.82	39.62 ± 1.05
인접 모드 억압비(dB)	19.92dB 이상	0.008dB 이상	23.93dB 이상
대역폭 (GHz)	5.37	8.35	4.77

파장 가변 영역은 \hat{r}_2 의 위상이 π 인 경우가 2.92nm로서 가장 넓었으나 이는 Fabry Perot 효과에 의하여 주 모드의 크기와 거의 같은 크기의 side 모드가 발생하기 때문이라 생각된다. \hat{r}_2 의 위상이 $\pi/2$ 인 경우가 1.11nm로서 파장 가변 영역이 가장 작았다. 주 모드의 최대치는 세경우 거의 비슷하였으며 \hat{r}_2 의 위상이 $\pi/2$ 인 경우가 최대치의 변화가 0.6dB로서 가장 작았다. 인접 모드 억압비는 \hat{r}_2 의 위상이 0인 경우가 23.9dB로서 가장 컸다. 또한 대역폭은 \hat{r}_2 의 위상이 π 인 경우가 8.35 GHz로서 가장 컸고 \hat{r}_2 의 위상이 0인 경우가 4.77 GHz로서 가장 작았다. 이 중 파장 가변 영역이 2.92 nm로서 가장 넓게 나타난 \hat{r}_2 의 위상이 π 인 경우의 투과 이득 스펙트럼을 그림 3에 보였다.

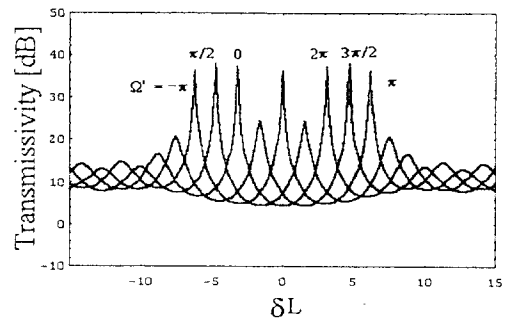


그림 3. \hat{r}_2 의 위상이 π 인 경우의 투과이득 스펙트럼

Fig. 3. Transmission gain spectra in the case for the phase of $\hat{r}_2 = \pi$.

b) 입력 단면은 절개면을 가지고 출력단면은 무반사 코팅을 한 경우 ($r_1 = -r, r_2 = 0$);

이경우 투과 이득 스펙트럼 식은 입력 단면은 무반사 코팅 출력 단면은 절개면을 가지는 a)의 경우와 같은 형태의 투과 이득 스펙트럼식을 가지며 특히 $\phi_1 = -\phi_3 - 2\beta_0 L$ 인 경우 두 식은 동일한 식이 된다. 그 이유는 물리적으로 가역정리가 성립하기 때문이다.

iii) 양 끝단면이 모두 절개면을 가지는 경우;

회절 격자가 complex coupling 을 가지는 경우, index coupling 만을 가지는 경우, gain coupling 만을 가지는 경우 각각에 대하여 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이의 위상이 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식은 각각 (13), (14)와 (15) 식으로 주어진다. 따라서 complex coupling 만

표 6. 단면반사가 $|\hat{r}_1| = 0.524$ 이고 $|\hat{r}_2| = 0.524$ 인 필터에서 index coupling만을 가지는 경우에 \hat{r}_1 과 \hat{r}_2 의 위상에 따른 특성 분석

Table 6. Comparison of the characteristics of filters with facet reflections $|\hat{r}_1| = 0.524$ and $|\hat{r}_2| = 0.524$ for various phases of \hat{r}_1 and \hat{r}_2 in the case of pure index coupling.

\hat{r}_1 의 위상	\hat{r}_2 의 위상	파장 가변 영역 (nm)	주 모드의 최대치(dB)	인접 모드 억압비 (dB)	대역폭 (GHz)
$3\pi/2$	$3\pi/2$	1.58	34.2 ± 0.01	15.68	3.58
$3\pi/2$	0	1.59	37.7 ± 7.7	13.56	2.98
$3\pi/2$	$\pi/2$	3.17	39.7 ± 6.5	2.5	4.18
0	$3\pi/2$	1.59	37.7 ± 7.7	13.56	2.98
0	0	1.13	34.4 ± 0.2	0.90	2.98
0	$\pi/2$	2.67	39.7 ± 6.3	0.25	4.18
0	π	1.02	33.9 ± 1.5	0.42	4.18
$\pi/2$	$3\pi/2$	3.18	39.7 ± 6.5	2.5	4.18
$\pi/2$	0	2.67	37.4 ± 6.3	0.25	4.77
$\pi/2$	$\pi/2$	1.52	34.8 ± 0.02	13.97	4.77

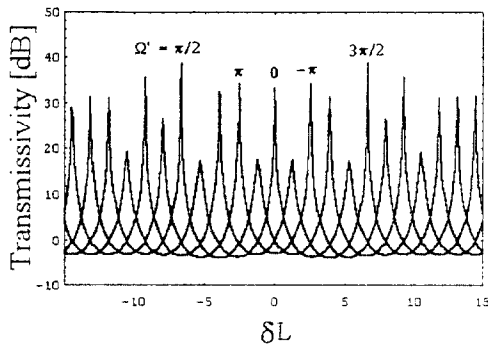


그림 4. $\hat{r}_1 = 3\pi/2$, $\hat{r}_2 = \pi/2$ 인 경우의 투과 이득 스펙트럼

Fig. 4. Transmission gain spectra in the case for the phases of $\hat{r}_1 = 3\pi/2$ and $\hat{r}_2 = \pi/2$

을 가지는 경우는 같은 소자내에서는 Bragg 파장에 대하여 mirror image 관계를 가지는 투과 이득 스펙트럼이 존재하지 않는다. Index coupling 만을 가지는 경우에 \hat{r}_1 , \hat{r}_2 와 Ω' 의 위상의 변화를 $\pi/2$ 씩 변화시키며 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 이 경우 시뮬레이션을 수행하여야 할 경우의 수는 64 가지이나 식 (14)에서 볼수있는 것처럼 투과 이득 스펙트럼이

Bragg 파장에 대하여 mirror image의 관계를 가지는 경우가 존재하기 때문에 독립적인 경우의 수는 36 가지로 줄게된다. 특히 $\hat{r}_1 = -\hat{r}_1^*$, $\hat{r}_2 = -\hat{r}_2^*$ 이고 $\Omega' = -\Omega'$ 인 8 가지 경우에는 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 대하여 대칭이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 위의 관계들을 확인하였고 그 결과를 표 6에 보인다.

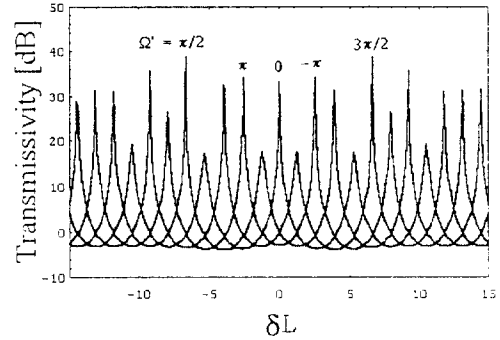


그림 5. $\hat{r}_1 = \pi/2$, $\hat{r}_2 = 3\pi/2$ 인 경우의 투과 이득 스펙트럼

Fig. 5. Transmission gain spectra in the case for the phases of $\hat{r}_1 = \pi/2$ and $\hat{r}_2 = 3\pi/2$.

표 7. 단면반사가 $|\hat{r}_1| = 0.524$ 이고 $|\hat{r}_2| = 0.524$ 인 필터에서 gain coupling만을 가지는 경우에 \hat{r}_1 과 \hat{r}_2 의 위상에 따른 특성 분석

Table 7. Comparison of the characteristics of filters with facet reflections $|\hat{r}_1| = 0.524$ and $|\hat{r}_2| = 0.524$ for various phases of \hat{r}_1 and \hat{r}_2 in the case of pure gain coupling.

\hat{r}_1 의 위상	\hat{r}_2 의 위상	파장 가변 영역 (nm)	주 모드의 최대치(dB)	인접 모드 억압비 (dB)	대역폭 (GHz)
$3\pi/2$	$3\pi/2$	0.96	40.3 ± 6.2	4.75	3.58
$3\pi/2$	0	0.99	41.9 ± 2.6	26.35	1.79
$3\pi/2$	$\pi/2$	1.28	35.8 ± 0.6	11.36	5.37
$3\pi/2$	0	0.87	34.2 ± 2.4	2.13	5.97
0	$3\pi/2$	0.99	41.9 ± 1.7	25.09	1.79
0	0	1.30	53.2 ± 13.1	28	0.60
0	π	1.78	35.6 ± 1.1	2.02	4.18
π	$3\pi/2$	0.87	34.2 ± 2.4	3.03	5.97
π	0	1.82	35.1 ± 0.4	2.02	4.18
π	π	1.73	31.9 ± 1.7	17.90	8.36

이 중 파장 가변 영역이 3.17 nm 와 3.18 nm 로서 매우 큰 $\hat{r}_1 = 3\pi/2$, $\hat{r}_2 = \pi/2$ 인 경우와 $\hat{r}_1 = \pi/2$, $\hat{r}_2 = 3\pi/2$ 인 경우의 투과 이득 스펙트럼을 각각 그림 4 와 그림 5 에 보인다.

Gain coupling 만을 가지는 경우도 index coupling 만을 가지는 경우와 마찬가지로 \hat{r}_1 , \hat{r}_2 와 \mathcal{Q} 의 위상의 변화를 $\pi/2$ 씩 변화시키며 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고 식 (15) 에서 보는 것처럼 mirror image 의 관계를 가지는 경우가 존재하기 때문에 독립적인 경우의 수는 36 가지로 줄게 된다. 또한 $\hat{r}_1 = \hat{r}_1^*$, $\hat{r}_2 = \hat{r}_2^*$ 이고 $\mathcal{Q} = -\mathcal{Q}$ 인 8 가지의 경우에는 투과이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 대하여 대칭이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 위의 관계들을 확인하였으며 그 결과를 표 7에 보인다.

V. 결 론

Index coupling 과 gain coupling 을 동시에 고려 할수 있는 complex coupled 회절 격자를 가지며 양 단면 반사와 회절 격자의 위상이 미치는 효과가 고려 된 위상 천이 조정 DFB 필터의 투과 이득 스펙트럼에 관한 식을 전달 행렬 방법을 사용하여 유도하였다.

유도된 투과 이득 스펙트럼의 식에 위상 천이 조정 영역에서의 위상 천이와 각 회절 격자의 위상 차이의 합으로 표현되는 유효 위상 천이 파라메타를 도입하여 투과 이득 스펙트럼식을 간략화 시킬수있어 식에 포함 되는 파라메타들의 수를 줄일수 있었다. 또한 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식을 유도하였다. 유도된 관계식으로부터 투과 이득 스펙트럼이 Bragg 파장에 관하여 대칭 또는 mirror image 를 가지는 양 단면 반사 계수의 위상과 유효 위상 천이간의 관계를 구하였다. 그 결과 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 알 수 있었으며 또한 연구되어야할 경우의 수를 줄였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과 양 단면 반사계수의 위상과 유효 위상 천이가 투과 이득 스펙트럼에 미치는 영향을 나타내는 관계식의 유효성을 확인하였다. 또한 양 단면 모두 무반사 코팅을 하였을때가 필터의 특성이 가장 좋았다. 이중 파장 가변 영역의 관점에서 는 index coupling 만을 가지는 경우가 인접 모드 억압비 관점에서는 gain coupling 만을 가지는 경우가

좋은 특성을 나타내었다.

한 단면 절개면 다른 단면은 무반사 코팅, 양 단면 모두 절개면을 가지는 경우는 필터의 특성이 단면 반사 계수의 위상에 따라 크게 달라지며 또한 Fabry Perot 모드 의 영향을 받음을 볼 수 있었다.

※ 본 연구는 한국 통신 연구 개발원 장기 기초 연구 사업과 서울 대학교 반도체 공동 연구소의 교육부 반도체 분야 학술 연구 조성비 (과제번호 : ISRC 94-E-3145) 에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] P. E. Green Jr., "Fiber Optic Communication Network," Prentice Hall, New York, 1992.
- [2] P. E. Green Jr., "The Future of Fiber Optic Computer Network," IEEE Comp., vol. 24, No. 9, pp. 7889, Sept. 1991.
- [3] H. Kotrin and K. Cheung, "Wavelength-Tunable Optical Filters ; Applications and Technologies," IEEE Comm. Magazine, 53, Oct. 1989.
- [4] T. Numai, "1.5 μ m Wavelength Tunable Phase-Shift-Controlled distributed Feedback Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 10, pp. 199-205, 1992.
- [5] K. Magari, H. Kawaguchi, K. Oe, and M. Fukuda, "Optical narrow-band filters using optical amplification with distributed feedback," IEEE J. Quantum Electron., vol. 24, pp. 2178-2190, 1988.
- [6] F. Delorme, H. Nakajima, C. Alletru, S. Slemkes, and B. Pierre, " A New Distributed Bragg Reflector Laser for Improved Tuning," IEEE Photonics Tech Lett. Vol. 6, No. 9, pp 1085-1087, 1994
- [7] Arthur J. lowery and Dalma Novak, "Performance Comparison of Gain-Coupled and Index Coupled-coupled DFB Semiconductor Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, No. 9, pp. 2051-2063, 1994.
- [8] Jurgen Zoz, Thomas Werner Johannes, Alfrad Rast, Bernd Borchert, Udo Barabas and Wolfgang Harth, "Dynamics and Stability of Complex-Coupled DFB Lasers

with Absorptive Grating," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 31, No. 8, pp. 1432-1442, 1995.

- [9] T. Numai, "1.5 μ m Phase-Shift-Controlled Distributed Feedback Wavelength Tunable Optical Filter," *IEEE J. Quantum Electron.*,

vol. 28, pp. 1513-1519, 1992.

- [10] 김 부균, 최 지연, 정 기석, 조 성찬, 이 봉영 "DFB 구조 소자의 자연 방출 스펙트럼에 관한 이론적 해석" 전자 공학회, 32 권, A, 3 호, pp 45 - 57, 1995

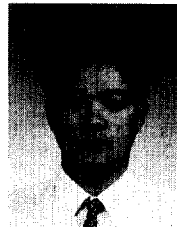
저 자 소 개



金 富 均(正會員)

1979년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사. 1981년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 고학석사. 1989년 8월 University of Southern California 공학박사.

1993년 6월 ~ 8월 IBM Almaden 연구소 방문 연구원 1981년 3월 ~ 현재 숭실대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 광소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임



丁 基 碩(正會員)

1970년 12월 1일생. 1994년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학사. 1996년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학석사. 1996년 2월 ~ 현재 대한전선 정보통신 연구소 연구원.

주관심분야는 광소자, 광통신시스템, 광전송장치 등임

李 奉 永(正會員)

1957년 4월 20일생. 1985년 2월 고려대학교 물리학과 졸업. 1989년 3월 일본 오사카대학 전기공학분야 물리계 석사. 1992년 3월 일본 오사카대학 전기공학분야 물리계 박사. 1984년 12월 ~ 1985년 삼성정밀 연구소 1986년 4월 ~ 1987년 3월 일본 오사카대학 전기공학과 연구생. 1992년 9월 ~ 현재 한국통신연구개발단 선임연구원. 주관심분야는 High-Speed/Wide-band Optical Trnsmisssion System 등임