

집적 광 아이솔레이터 제작을 위한 비가역적 위상 변위의 최적화

Optimization of a nonreciprocal phase shift for integrated optical isolator

양정수, 김영일, 나종범, 변영태, 우덕하, 이석, 이종창*, 김선호
 한국과학기술연구원 광기술연구센터, *홍익대학교 전자전기공학부
 jsyang@kist.re.kr

광 집적회로를 구현하기 위한 목적의 구성요소들로서 자기 광학적 효과를 이용한 아이솔레이터(isolator), 서큘레이터(circulator)등과 같은 소자들의 새로운 대안이 제시되고 있다. 현재 기존의 체적 아이솔레이터(bulk isolator)들이 마이크로 시스템에서 사용되고는 있으나 실용적인 해결점은 아닐것이다. gyrotropic 도파로들의 광학적 TM 모드의 비가역적 위상변위(nonreciprocal phase shift)를 이용하는 경우 반도체 레이저를 광원으로 이용할 때 반사되어져 오는 광으로부터 레이저를 보호할 수 있는 광 아이솔레이터의 구현이 가능할 수 있다. 광통신에 사용되는 파장은 $1.3\mu\text{m}$ 와 $1.5\mu\text{m}$ 에서 발달되어져 있다. 자기적 석류석 물질(magnetic garnet material)은 파장이 $1.2\mu\text{m}$ 와 $5\mu\text{m}$ 사이의 영역에서 낮은 광학적 손실을 가지므로 광통신용에 적합하다고 할 수 있을 것이며 또한 큰 패러데이 회전(Faraday rotation)을 갖는다. 이 패러데이 회전은 비가역적 위상변위를 일으키는 기본적 요인이 된다. 그러므로 현재 자기적 석류석 막(magnetic garnet film)들은 광집적 아이솔레이터를 구현하기 위한 유일한 대안이라 할 수 있을것이다. 최근에 TM 모드의 비가역적 위상변위 이용한 아이솔레이터와 서큘레이터등이 제시되고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 비가역적 위상변위 $\Delta\beta = \beta_{\text{forward}} - \beta_{\text{backward}}$ 이며 β_{forward} 는 전향 전파상수(forward propagation constant)를 나타내며, β_{backward} 는 후향 전파상수(backward propagation constant)를 나타낸다. 본 논문에서는 자기적 석류석 물질이 도파로에 사용될 때 비가역적 효과인 $\Delta\beta$ 가 최적화되는 경우를 계산하려 한다. 여기에서 고려하는 도파로의 기본구조는 그림 1과 같다.

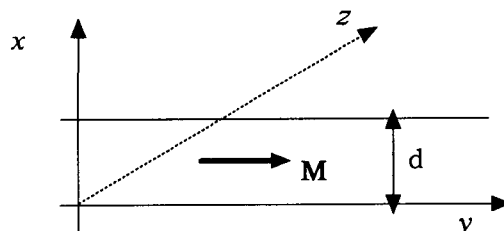


그림 1. 도파로의 기본구조

자기 광학적인 막의 두께는 d 이고 x 축에 수직이고, 자화 \mathbf{M} 은 y 축 방향이며 광의 진행 방향은 z 축이다. 기판은 Gadollium Gallium Garnet (GGG)이고 덮개물질은 공기이다. 광학적 손실이 없는 물질이라 가정한다면 도파로 막의 상대 유전율 텐서(relative permittivity tensor) $[\epsilon]$ 는

$$[x] = [x^o] + [\Delta x] = \begin{pmatrix} n^2 & 0 & 0 \\ 0 & n^2 & 0 \\ 0 & 0 & n^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & i\xi \\ 0 & 0 & 0 \\ -i\xi & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

로 표시 할 수 있다. 여기에서 n 은 등방성 굴절율 (isotropic refractive index)이고, 자기 광학적 효과를 나타내는 비대각선 요소(off-diagonal component) ξ 는 $\xi \approx 2n\Theta_F/k_o$ 이다.

Θ_F 는 고유 패러데이 회전(specific Faraday rotation)이고 k_o 는 자유공간에서의 파수(wave number)이다. TE 모드의 파동 방정식은 광의 진행방향에 따라 불변이나 TM 모드의 파동방정식은 광의 진행방향에 따른 비가역적 효과가 존재한다. TM 모드에서 자기장을 $H = [0, h_y(x), 0] \exp[i(\omega t - \beta z)]$ 으로 표시하는 경우, 섭동론을⁽⁶⁾ 이용한 비가역적 위상변위의 표현은

$$\Delta\beta = \beta_{forward} - \beta_{backward}$$

로 나타낼 수 있다. 1.5 μm 에서 자기 광학적 막의 굴절율을 2.22, 고유 패러데이 회전이 4500°/cm 이고, 기판의 굴절율로 1.95, 공기의 굴절율을 1로 사용하는 경우 자기 광학적 막의 두께에 따른 비가역적 위상이동은 그림 2와 같다.

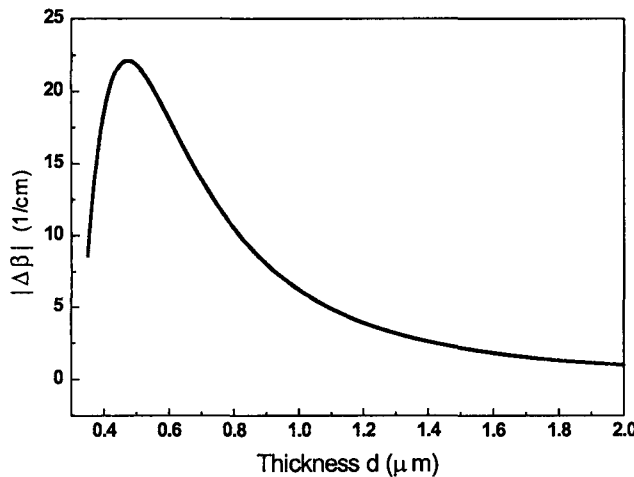


그림 2. 1.5 μm 파장에서 자기 광학적 층에 대하여 계산된 비가역적 위상변위

참고문헌

1. L. A. Zenteno, Opt. Lett. 12, 657 (1987)
2. T. Mizumoto, H. Chihara, N. Tokui, and Y. Naito, Electron. Lett, 26, 199 (1990)
3. N. Bahlmann, V. Chandrasekhara, A. Erdmann, R. Gerhardt, P. Hertel, R. Lehmann, D. Salz, F. Schröteler, M. Wallenhorst, and H. Dötsch, J. Lightwave Technol, 16, 818 (1998)
4. A. Erdmann, M. Shamonin, P. Hertel, and H. Dotsch, Opt Commun. 102, 25 (1993)
5. H. Yokoi and T. Mizumoto, Electron. Lett, 33, 1787 (1997)
6. S. Yamamoto and T. Makimoto, J. Appl. Phys. 45, 882 (1974)