1차원 자성 포토닉 결정의 설계
Design of 1D-Magnetophotonic Crystal

박재혁, 이종백, 조재경
경상대학교 공과대학 전자재료공학과, 경남 진주시 가좌동 900
jkcho@nongae.gsnu.ac.kr

1. 서론

포토닉 결정이란 굴절률(또는 유전률)이 다른 물질들을 빛의 파장 정도의 크기로 주기적으로 배열한 인공적인 결정이다. 포토닉 결정은 1989년 Yabnolovitch에 의해 제안되어, 새로운 광 매체로서의 가능성을 열었다. 1차원 자성 포토닉 결정이란 1차원 포토닉 결정 내에 결함층으로 자성층을 삽입한 것을 말한다. 1996년 Inoue 등에 의해 제안된 1차원 자성 포토닉 결정은 결함층으로 삽입된 자성층에 빛이 국재화되어 거대한 자기광학효과를 나타낸다는 점에서 주목을 받고 있다[1]. 본 논문에서는 1 차원 자성 포토닉 결정과 포토닉 결정과의 차이점 및 1 차원 자성 포토닉 결정의 설계와 그에 따른 특성에 대하여 논하고자 한다

2. 1 차원 포토닉 결정과 1차원 자성 포토닉 결정

1 차원 포토닉 결정은 보통의 결정이 전자의 에너지 밴드 갭을 갖는 것처럼, 포토닉 밴드 갭을 나타낸다. 포토닉 밴드 갭에 해당하는 에너지를 갖는 빛은 포토닉 결정에서 그의 존재가 허용되지 않으므로, 이에 해당하는 파장의 빛은 투과가 허용되지 않는다. 그리고 마치 반도체 등의 결정 내에 도너 또는 억셉터를 도핑하면 불순물 국재 준위가 밴드 갭 내에 생기는 것처럼, 포토닉 결정에 결함층을 삽입하면 그에 의한 국재 준위가 포토닉 밴드 갭 내에 형성된다. 따라서, 결함층에 의한 국재 준위로 인해, 이에 해당하는 파장의 빛의 투과가 허용된다. 1 차원 자성 포토닉 결정은 포토닉 결정의 결함층으로 자성층을 삽입한 구조로써 위와 같은 빛의 투과가 허용될 뿐만 아니라, 이 경우 빛이 자성층에 가장 강하게 국재화되어, 자성층 내를 다수회 왕복하는 다중 간섭이 강하게 일어나므로 그에 해당하는 파장의 빛에서 페러데이 회전각이 단층의 자성박에 비하여 수 십에서 수 백배 값이 얻어진다.

3. 1 차원 자성 포토닉 결정의 설계 및 특성

다층막을 전파하는 빛은, 현상론적인 범위에서 복소유전율 텐서를 이용한 맥스웰 방정식으로 기술할 수 있다. 다층막 중에는 많은 물질 불연속면이 있으나, 행렬 접근법을 이용하여 맥스웰 방정식을 푸는 것에 의해, 빛의 다중반사와 다중위상간섭효과를 포함하여, 구조가 다른 다층막을 일반적으로 취급하는 것이 가능하다. Φ_M, Φ_A, Φ_B 를 각각 자성층 M, 두 종류의 유전층 A, B의 상태 행렬이라고 하면, 전체 다층막(막후 D)을 통과한 후의 빛의 상태 변화는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau(Z_0+D) = (\Phi_A \cdot \Phi_B)^k \cdot \Phi_M \cdot (\Phi_B \cdot \Phi_A)^k \cdot \tau(Z_0)$$

이식으로부터, 입사광의 상태($\tau(Z_0)$)로부터 출사광의 상태($\tau(Z_0+D)$)를 결정할 수 있으므로, 다층 박막의 광학적 및 자기광학적 응답, 즉, 투과율과 Faraday 회전각을 얻을 수 있다. Bi 치환 가네트 자성 박막을 결함층으로, SiO_2와 Ta_2O_5를 유전체 박막으로 설정하고[2], 유전체 층들에 의한 광흡수 및 굴절률의 파장 분산은 무시하였다. 목표파장을 λ 로 하였을 때, 각 유전체 층의 두께는 $d=\lambda/4n$(n:유전체 층의 굴절율)에 의해 결정된다. Fig. 1는 $\lambda=1000$ nm, $k=7$일 때 자성층의 두께에 따른 국재모드의 변화를 보였다. 빛의 투과가 허용되지 않는 포토닉 밴드갭(PBG)이 뚜렷이 얻어지는 것을 알 수 있다. 그

림에서 각 피크 위의 숫자는 국재 모드의 차수이다. 각 국재 모드는 자성층의 두께가 증가함에 따라 장파장 쪽으로 이동하여 정수배가 되는 두께가 되면 포토닉 밴드 갭의 중앙에 오고 두께가 그 보다 더 증가하면 장파장 쪽으로 더욱 이동하여 아래 밴드로 소멸한다.

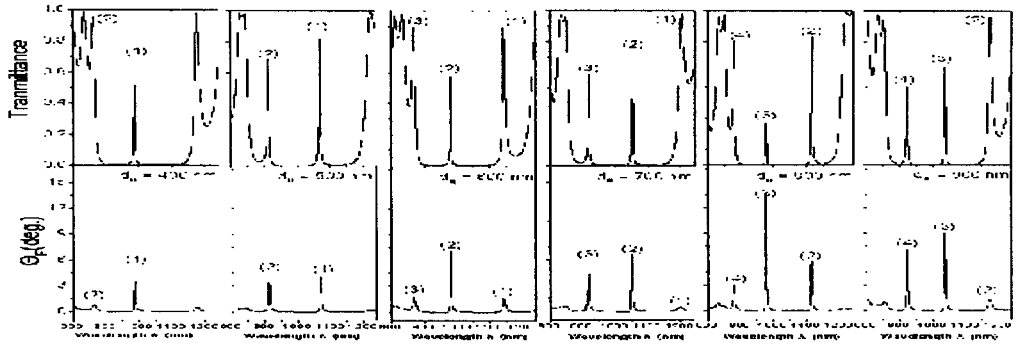

Fig.2 T and θ_F spectra of 1-D MPCs as a function of dM when $k = 7$

Fig. 3는 Fig. 2의 dm=630 nm일 때 국재모드 2에서의 적층수 k에 따른 투과도와 페러데이 회전각을 나타내었다. k가 증가함에 따라 투과도는 감소하고 페러데이 회전각은 증가하는 경향을 보인다. 이는 k가 증가함에 따라 다층 박막의 주기성(파장 선택성)이 강화되어 국재 모드가 보다 현저하게 발현되기 때문으로 사료된다.

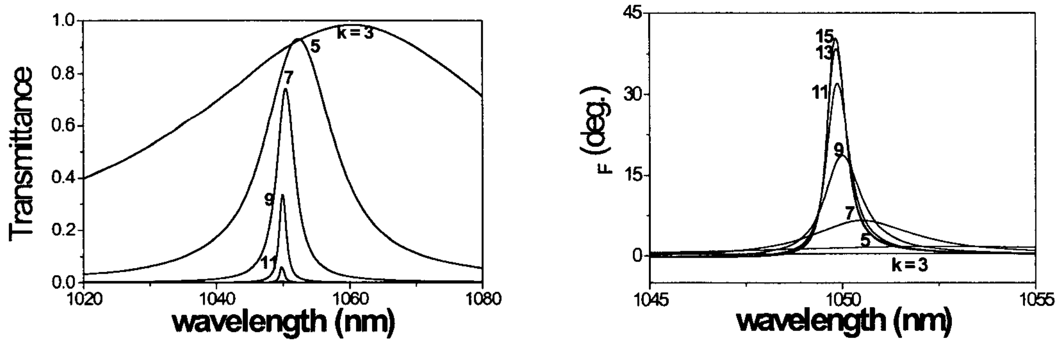

Fig. 2 T and θ F spectra of 1-D MPCs as a function of k when d_M=630 nm.

4. 결론

1 차원 자성 포토닉 결정은 포토닉 결정의 결함층으로 자성층을 삽입한 구조로써 포토닉 밴드갭 내에 자성체 층(결함층)에 의한 국재 준위로 인해 빛의 투과가 허용되는 파장이 존재하며, 그 파장에서 단층의 가네트 박막에 비하여 큰 페러데이 회전각이 얻어짐을 알 수 있었다. 따라서 자성체 층의 두께와 적층수 k를 적절히 설계함에 따라 원하는 파장에서 단층의 자성박막에 비하여 수 십에서 수 백배 큰 투과율과 페러데이 회전각을 얻을 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

[1] M. Inoue, K. Arai, T. Fujii, and M. Abe, J. Appl. Phys. Vol.85, No. 8, pp.5768 5770, 1999.
[2] V. Doormann, J. P. Krumme, and H. Lenz, J. Appl. Phys. vol. 68, No. 7. pp. 3544 3553, 1990.