

삼각형 격자 광결정 박막을 이용한 Fano-Resonance

Fano-resonance by using a triangular lattice

photonic crystal slab

양진규, 김세현, 김선경, 권순홍, 황인각, 이용희

한국과학기술원 물리학과

jin9yang@kaist.ac.kr

지금까지 수동 매질을 갖는 광 결정 구조를 이용하여 다양한 형태의 광소자들에 대한 연구가 활발히 진행되었다.^(1~3) 특히 2차원 광 결정 박막 구조에서 수직으로 입사하는 빛은 특정 파장에서 투과 또는 반사율이 좁은 선폭을 가지고 급격히 변하는 성질을 가진다는 사실이 보고되었다.⁽⁴⁾ 이러한 현상은 입사 광과 입사광에 의해 유도된 광 결정 박막의 공진 모드와의 상호 간섭에 의해 일어나는데 이것을 Fano resonance 라 한다.⁽⁵⁾ 본 실험에서는 삼각형 격자 광 결정 박막에서의 Fano resonance 현상에 대해 3차원 유한 시간 미분법(finite difference time domain method)을 이용하여 모의실험을 수행하였다.

광 결정 박막에 존재할 수 있는 광 모드는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째로, 박막 내부에 갇혀 공기로 빠져나가지 못하는 광 모드(guided mode)와 공기 층으로 빠져나가는 광 모드(leaky guided mode)이다. 그림 1 에 나타난 분산 곡선에서 guided mode는 light line 아래에 놓인 모드로 박막 내부에 갇혀 있다. 하지만 leaky guided mode는 light line 위에 존재하기 때문에 공기 층으로 에너지가 새어나가게 된다. Fano resonance 현상을 알아보기 위해 수평 방향으로 주기적인 3차원 유한 시간 미분법을 이용해 무한 평면파의 반사율을 구하였다. 외부에서 빛이 박막에 수직으로 입사하는 경우, 빛은 leaky guided mode와 결합 할 수 있는데 그 결과 leaky guided mode에 해당하는 특정 주파수에서 비대칭적 형태의 반사율을 얻을 수 있다. 그림 2 는 삼각형 격자 광 결정 박막에서 Fano resonance에 의한 반사율을 나타낸 것이다. 여기서 반사율이 주파수에 따라 천천히 변화하는 것은 유전체 박막에 의한 Fabry-Perot oscillation에 기인한 것이다. 수직으로 입사하는 빛의 경우 수평 방향의 파수가 없으므로 Γ point에서의 광 결정 모드와 결합하게 된다. Γ point에서의 광 결정 모드는 수평 방향의 피드백에 의해 파수가 0이 되는 모드이므로 펄드 모양이 주기적으로 반복되는 형태를 가지게 된다. 하지만 입사하는 평면파의 펄드 모양은 수평 방향으로 등방성을 가지므로 일반적으로 두 모드 간의 결합 크기는 작다. 따라서 Fano resonance 현상을 증가시키기 위해 입사각을 증가시킴에 따라 반사율의 변화를 알아보았다. 입사각이 증가할수록 입사하는 빛의 수평 방향 파수는 커지게 된다. 이때 입사하는 빛은 같은 파수를 가지는 광 결정 모드와 결합하게 되는데 수평 파수가 크면 클수록 결합력은 커진다. 이러한 결과는 그림 1 (c)에서 입사각이 증가할수록 반사율 곡선 상에 선폭이 매우 좁은 peak가 점점 커지며 나타나는 것을 통해 확인 할 수 있다.

이상에서 살펴보듯이 삼각형 격자 광 결정 박막을 이용하여 특정 주파수에서 선폭이 매우 좁은 반사율 peak를 얻을 수 있다. 특히 입사각이 증가함에 따라 특정 주파수의 반사율만이 급격히 증가하는데 이러한 현상을 이용하여 좁은 선폭의 높은 반사율을 가지는 간단한 광소자로 광 결정 박막을 이용할 수

있을 것으로 기대된다.

1. S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, Nature (London) 407, 608 (2000).
2. Seunghyun Kim, Gregory P. Nordin, Jingbo Cai, and Jianhua Jiang, Opt. Lett. 28, 23 (2003)
3. Wu Lijun, M. Mazilu, and T. F. Krauss, J. Lightwave Technol. 21 561 (2003)
4. S. Fan and J. D. Joannopoulos, Phys. Rev. B 65, 235112 (2002)
5. U. Fano, J. Opt. Soc. Am. 31, 213222 (1941).

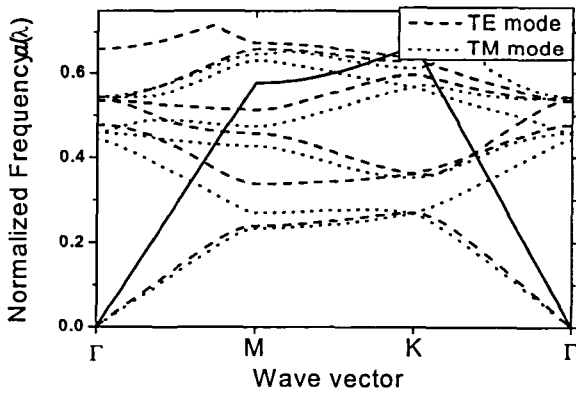


그림 3. 2차원 평면파 전개법 방법을 통해 계산한 삼각형 격자 광 결정의 분산 곡선. 실선으로 나타낸 것은 light line 이다. 이때 유효 굴절률은 2.64 이고 공기구멍의 반경은 격자 주기의 0.3배 이다.

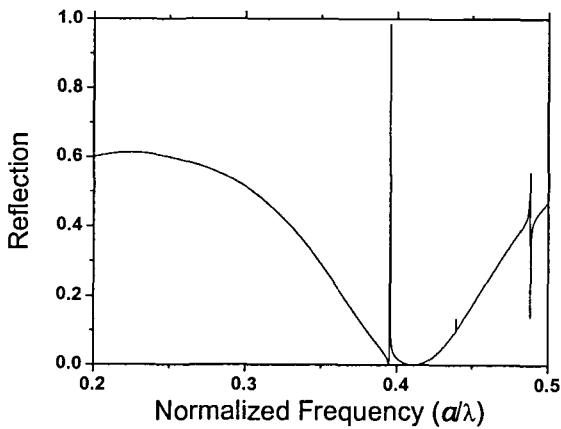


그림 2. 광 결정 박막 구조에서의 수직 입사시 반사율 그래프. 이때 물질의 굴절률은 3.4 이고 공기구멍의 반경은 격자 주기의 0.25배 이고 박막의 두께는 주기의 0.4배이다.

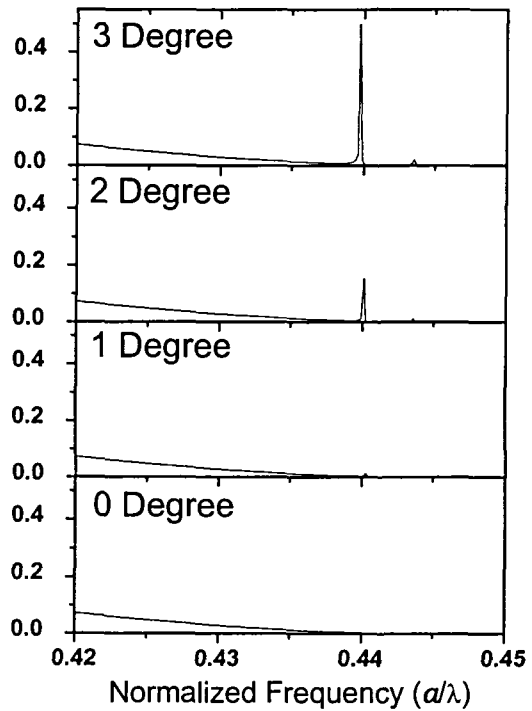


그림 1. 입사 각도에 따른 반사율 곡선의 변화. 입사 평면은 Γ -K 이다. 이때 물질의 굴절률은 3.4이고 공기구멍의 반경은 격자 주기의 0.2 배 이고 박막의 두께는 0.353으로 두었다.

T
F