

## 동일한 면적을 가지는 격자의 모양에 따른

### 광자 밴드갭 특성에 관한 연구

## Photonic Band Gap Characteristics by Shape of Lattice with Uniformity Area

김기욱, 오범환, 이승걸, 박세근, 이일항  
인하대학교 정보통신공학과 마이크로포토닉스센터  
[namuzy@unitel.co.kr](mailto:namuzy@unitel.co.kr)

광자 크리스탈 (Photonic Crystals)은 서로 다른 유전체의 주기적인 구조로 이루어져 있으며, 전자기파가 특정한 주파수 범위에서 전파하지 못하고 차단되는 영역인 광자 밴드갭 (Photonic Band Gap)이 존재한다.<sup>(1)</sup> 이러한 광자 밴드갭의 존재로 인하여 빛의 흐름을 조절할 수 있다는 점 때문에 반사거울<sup>(2)</sup>, 휘어진 도파로(bent waveguide), 레이저, 채널 드롭핑 필터(channel dropping filter)<sup>(3)</sup> 등 여러 가지 다양한 분야에 응용될 수 있다.

본 연구에서는 그동안 연구되었던 원형 격자로 이루어진 2차원 광자 결정 크리스탈(2-dimension Photonic Crystals) 뿐만 아니라, 여러 가지 격자 모양에 대해서 광자 밴드갭의 존재를 확인하고, 동일한 면적을 갖는 경우에 대해서 넓은 밴드갭 간격을 가지는 모양을 찾고자 시도하였다.

그림 1에 여러 가지 모양의 주기적인 격자 배열 구조를 나타내었다. 여기서  $r$ 과  $a$ 는 각각 격자의 반지름, 격자 주기이다. 격자의 유전율  $\epsilon_{rod}$ 은 9.0이고, 공기의 유전율  $\epsilon_{air}$ 은 1.0이다. 우리는 E-편광(E-polarization)된 경우에 대해서 식(1)을 이용하여 광자 밴드갭의 존재를 전산모사를 통하여 확인하였다.

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) E_3 + \epsilon(x, y) \frac{\omega^2}{c^2} E_3 = \quad (1)$$

여기서,  $\epsilon(x, y) = \sum_{\vec{G}} k(\vec{G}) \exp(i\vec{G} \cdot \vec{r})$  이다.<sup>(4)</sup>

그림 2에 4가지 격자 모양에 대해서 면적의 변화에 따른 밴드갭의 간격을 나타내었다. 우선 각각의 격자에 대해서 밴드갭 특성을 살펴보면, 원형 격자의 경우는 면적비(rod area/unit area)가 0.127일 경우에 형성된 밴드갭의 간격이  $\Delta\omega_g = 0.12093$ 으로 가장 넓었으며, 이때의 격자 반지름은  $0.20a$ 이다. 마름모 격자의 경우는 면적비가 0.098에서 밴드갭의 간격이  $\Delta\omega_g = 0.11908$ 로 가장 넓게 나타났으며, 반지름  $r = 0.22a$ 이다. 1/2역원 격자는 면적비가 0.098에서  $\Delta\omega_g = 0.10277$ , 반지름  $r = 0.38a$ 이고 1/3 역원 격자에서는 면적비가 0.127에서  $\Delta\omega_g = 0.09105$ 로 가장 밴드갭의 간격이 넓게 나타났으며, 반지름  $r = 0.8a$ 이다. 이상에서와 같이 격자 모양마다 약간의 차이는 있으나 대략 면적비가 0.099~0.127 사이에서 밴드갭의 간격이 가장 넓게 나타남을 알 수 있다. 또한, 밴드갭 간격이 가장 넓게 나타나는 영역에서 동일한 면적을 갖는

경우, 즉 면적비가 0.127인 경우에 형성된 밴드갭의 간격을 살펴보면, 그림 2에서 보듯이 원형 격자, 마름모 격자, 1/2 역원 격자, 1/3 역원 격자의 순으로 나타났다. 그림 3에 밴드갭 간격이 가장 넓은 원형 격자에서 형성된 밴드갭을 나타내었다.

본 연구에서는 전산모사를 통하여 2차원 광자 크리스탈의 여러 가지 격자 모양에 대해서 광자 밴드갭의 존재를 확인할 수 있었으며, 동일한 면적비를 가지는 경우에 대해서 가장 넓은 밴드갭의 크기를 갖는 격자 모양을 찾을 수 있었다. 밴드갭 간격이 가장 넓게 나타나는 0.099~0.127 영역에서 면적비가 0.127의 경우에 원형 격자의 밴드갭 간격  $\Delta\omega_g$ 가 0.12093으로 가장 넓게 나타났다,

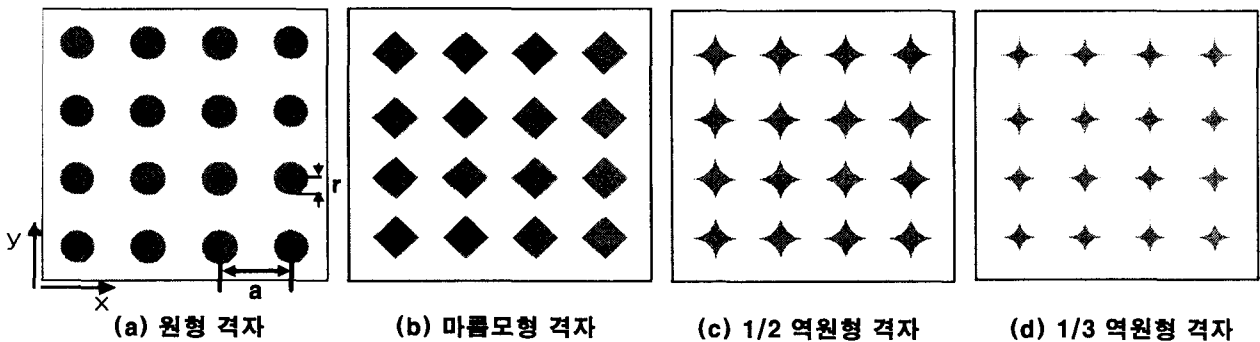


그림 1. 여러 가지 모양의 격자

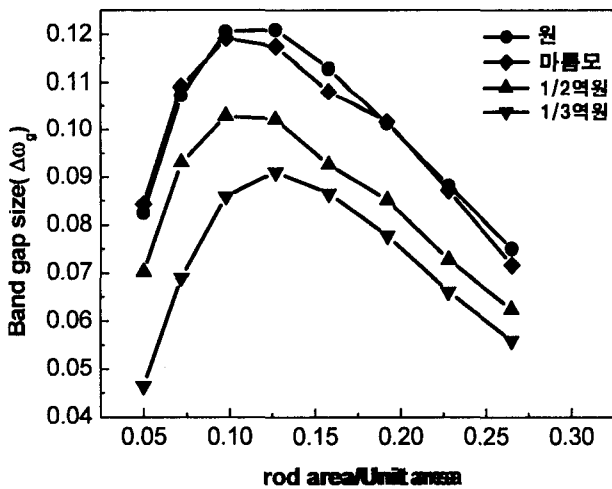


그림 2. 면적의 변화에 따른 밴드갭 변화 곡선

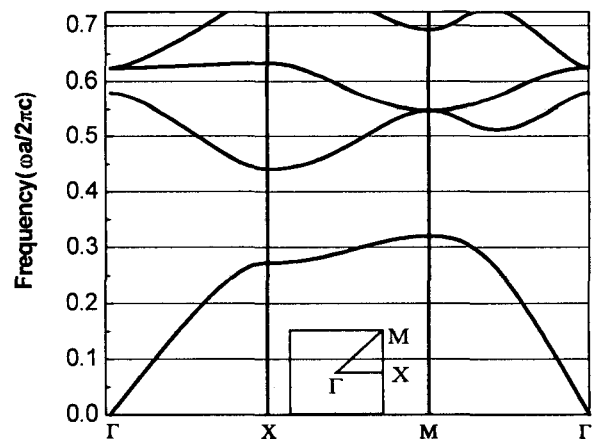


그림 3. 원형 격자의 밴드갭 ( $\Delta\omega_g=0.12093$ )

참고 문헌

1. J. D. Joannopoulos, R.D. Meade, and J. N. Winn, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light* (Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1995). W. W. Chow, S. W. Koch, and M. Sargent III, *Semiconductor-Laser Physics*, Springer-Verlag, Berlin (1994).
2. Yoel Fink, Joshua Winn *et al.*, 1998, 27 Nov., "A Dielectric Omnidirectional Reflector", *Science*, p579, 282, 1481.
3. Shanhui Fan, Pierre R. Villeneuve, D. Joannopoulos, and H. A. Haus, 1998, "Channel drop filters in Photonic crystals", *Opt. Express* 3, p4~11.
4. M. Plihal and A. A. Maradudin. "Photonic band structure of two-dimensional system: The triangular lattice", *Physical Review B*, Vol. 44, No. 16, p8565-8571.(1991).