

R, G, B Multi-mode 1-D Organic Photonic Crystal Laser

적, 녹, 청 다중모드 발진 1차원 유기 포토닉 크리스탈 레이저

김두엽, 김선웅, 박진호, 오승석, 한송희*, 박병주
 광운대학교 전자물리학과, *광주과학기술원 고등광기술연구소
 bcpark@kw.ac.kr

최근 가시광 발광성 유기 레이저 소자를 실현하기 위하여, 서로 다른 굴절률을 갖는 층의 주기적인 배열로 구성된 광 밴드 갭(PBG; Photonic Band Gap) 물질과 유기 활성층을 결합한 형태의 유기 레이저가 제안되어 연구되고 있다.^(1,2) 특히, 1D-PBG / organic layer / 1D-PBG 레이저 소자 구조가 제안되어 Lasing 또는 ASE (amplified stimulated emission)이 실현된 이후, 유기 레이저 개발에 많은 진전이 이루어지고 있다.

현재까지 연구 개발된 레이저 개발용 PBG의 구조는 1) 굴절률(n)을 주기적으로 변조하기 위하여, 굴절률이 큰 (high n) 물질(A)과 굴절률이 작은 (low n) 물질(B)을 번갈아 스택으로 적층하여 제작한 $[A/B]^n$ 구조 ($[n_H/n_L]^n$)^(1,2)와 2) 자발적인 주기구조로 꼬여진 콜레스테릭 액정(cholesteric liquid crystal, CLC) 박막 구조가 주로 연구되어 왔다.⁽³⁻⁵⁾ CLC를 사용하는 경우, 자발적인 주기구조의 발현 현상을 이용하기 때문에 전 유기 레이저(all organic laser)를 제작할 수 있다는 장점이 있으나, CLC의 handedness에 따라서 lasing 발현이 좌우되는 원편광 선택성이 존재하는 단점이 있다. 이에 반하여, 1차원 스택의 적층 PBG는 편광 선택성이 없으며, 고휘도 lasing 발현이 가능하다는 장점이 있어 널리 연구 개발되고 있다. 그러나 1차원 스택의 적층 PBG 구조에서도 광 밴드 갭의 특성을 조절할 수 있는 파라미터는 단지 박막의 두께와 굴절률만으로 한정되어 있어서, 광 밴드 갭의 특성을 넓은 파장 대역, 특히 전 가시광 영역에서 미세하게 조절하는 것은 매우 어려우며, multi-mode 발진은 한정되어 있다.

본 연구에서는 이러한 기존 $[A/B]^n$ 스택의 PBG 구조 대신에 새로운 구조의 1차원 PBG 구조를 제안하고자 한다. 기존의 광 밴드 갭의 특성을 조절할 수 있는 파라미터에 자유도를 증가시키기 위하여 3층 구조인 $[A/B/C]^n$ 스택의 PBG를 제안한다. 즉, 굴절률을 주기적으로 변조하기 위하여 고 굴절률 (high n) 물질(A)과 저 굴절률 (low n) 물질(C), 및 중 굴절률(middle n) 물질(B)들이 번갈아 스택으로 적층한 $[A/B/C]^n$ 구조 ($[n_H/n_M/n_L]^n$) (그림 1)를 연구하였다.

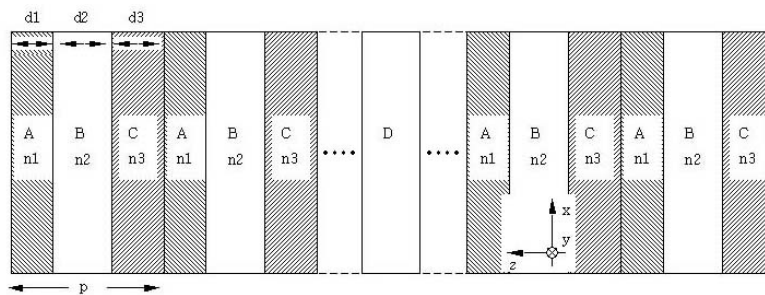


그림 1. $[A/B/C]^n$ ($[n_H/n_M/n_L]^n$)의 기본 구조

제안된 [A/B/C]ⁿ 구조 ($[n_H/n_M/n_L]^n$)와 기존의 [A/B]ⁿ 구조 ($[n_H/n_L]^n$)의 광 특성을 비교하기 위하여 다중 반사 시뮬레이션을 통하여 광 투과 및 반사 스펙트럼의 특성을 비교하였다. 계산된 결과를 바탕으로 하여 두 구조의 모드 밀도(Density of Mode, DOM)들을 비교한 결과, 본 연구에서 제안된 [A/B/C]ⁿ 구조의 경우가 기존의 [A/B]ⁿ 구조에 비하여 DOM의 조절이 상대적으로 용이하다는 것을 확인하였으며, multi-mode laser 발전을 위한 band gap 설치가 가능함을 알 수 있었다. 특히 임의로 설정된 파장, 즉 630 nm (Red), 520 nm (Green), 450 nm (Blue), 세 파장에서 밴드 갭 edge들을 설정하는 설계를 [A/B/C]ⁿ 구조와 기존의 [A/B]ⁿ 구조에서 각각 시도하였다. 그 결과 본 연구에서 제안된 [A/B/C]ⁿ 구조의 경우가 기존의 [A/B]ⁿ 구조에 비하여 밴드 갭 설정이 완전하고, 이에 따른 DOS의 증강이 가능하다는 것을 알 수 있었다.(그림 2)

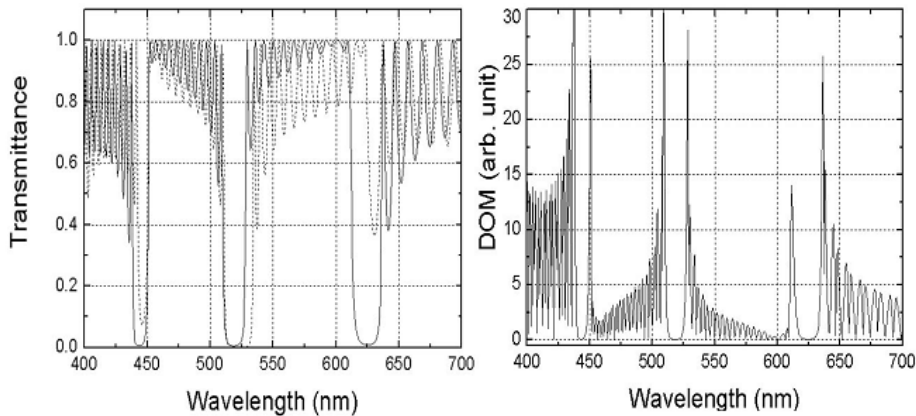


그림 2. [A/B/C]ⁿ 구조(실선)와 [A/B]ⁿ 구조(점선) 밴드 갭 특성

이러한 결과들을 바탕으로, 본 연구에서 제안된 [A/B/C]ⁿ 구조를 적용하면, 1차원 스택의 적층 PBG 구조에서도 광 밴드 갭의 특성을 쉽게 조절할 수 있으며, 광 밴드 갭의 특성을 넓은 파장 대역, 특히 전가시광 영역에서 미세하게 조절하는 것은 가능하며, 이를 이용한 multi-mode lasing이 가능함을 보였다.

참고문헌

1. E. Yablonovitch, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987) 2059.
2. J. D. Joannopoulos, P. R. Villeneuve, S. Fan, *Nature* 386 (1997) 143.
3. K.-C. Shin, F. Araoka, B. Park, Y. Takanishi, K. Ishikawa, Z. Zhu, T.M. Swager, H. Takezoe, *Jpn. J. Appl. Phys.* 43 (2004) 631.
4. J. Schmidtke, W. Stille, H. Finkelmann, S. T. Kim, *Adv. Mater.* 14 (2002) 746.
5. J. Hwang, M.H. Song, B. Park, S. Nishimura, T. Toyooka, J.W. Wu, Y. Takanishi, K. Ishikawa, Hideo Takezoe, *Nat. Mater.* 4 (2005) 383.