

사각형 링 공진기를 이용한 광결정 센서의 분석

Analysis of the Photonic Crystals Sensor using the Rectangular Ring Resonator

김홍승^{*(1)}, 김두근⁽²⁾, 오금윤⁽¹⁾, 최영완⁽¹⁾

^{*(1)}중앙대학교 전자전기공학부, 전파·광파통신연구실

⁽²⁾한국광기술원, 광소자팀

ychoi@cau.ac.kr

현재 광소자를 이용한 바이오센서들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 환경, 제약, 바이오산업, 식품안전, 공업 등으로 이용되는 다양한 종류의 바이오센서들은 대부분 바이오분자들의 결합에 의한 굴절률의 변화를 측정하고 있다. 그 중 광밴드갭을 이용한 광결정 이론은 E. Yablonovich에 의해 1987년에 제안되었고⁽¹⁾, J. S. Foresi에 의해 1D 광결정이 포함된 도파로의 특성이 분석되었다.⁽²⁾ 바이오 분자들과의 넓은 접촉면적과 작은 사이즈, 고감도 특성으로 인해 광결정 센서는 많은 연구자들에게 주목받고 있다.

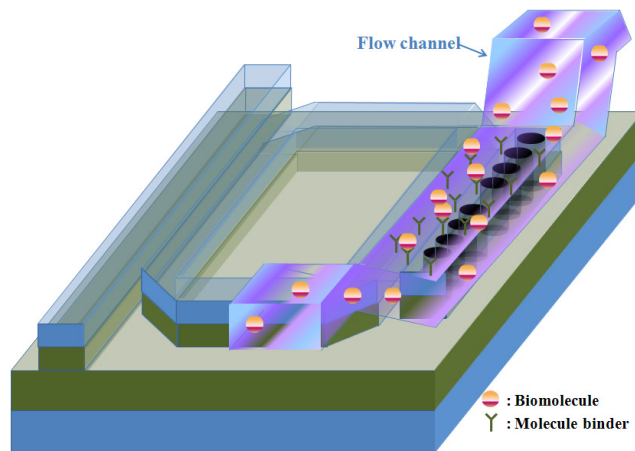


그림 1. 광 결정을 이용한 사각형 링 공진기 센서

그림 1은 기존의 광결정을 이용한 방향성 결합기 구조⁽³⁾의 낮은 감도를 개선하기 위한 사각형 링 공진기를 결합한 구조이다. 방향성 결합기의 특성을 이용하기 위해 직선형 광도파로를 가지는 사각형 링 공진기를 이용하였다. 사각형 링 공진기는 전반사미러를 이용하여 제작되기 때문에 설계시 반사손실과 Goos-Hänchen shift의 영향을 고려해야 한다⁽⁴⁾. Goos-Hänchen shift를 고려하여 전반사미러의 위치를 공진기의 내부방향으로 0.09 μm 만큼 오프셋을 두어 설계했다. 이 때 전반사미러의 손실은 0.57 dB이다.

광결정이 포함된 우측 광도파로는 8개의 공기구멍으로 구성되어 있고, 가운데에 주기성을 깨트리는 결합이 존재하여 광대역간극 사이에 결합 모드가 존재하게 된다. 사각형 공진기를 통과하는 빛 중 결합 모드의 공진특성과 일치하는 파장의 빛이 방향성 결합기의 광결정 결합에 결합되게 되고 공기구멍에 바이오분자들이 흐름에 따라 유효굴절률이 변하게 되므로 공진특성이 변하게 된다. 따라서 결합되는 빛의

파장도 변하게 되고 그 변화하는 양을 측정하여 바이오분자의 양을 측정할 수 있게 된다.

광결정 내의 결합은 Fabry-Perot 공진기와 같은 원리로 동작하기 때문에 그 길이조절을 통하여 결합 모드의 위치를 결정할 수 있다⁽⁵⁾. 최적화 된 광도파로의 두께, 도파로 사이의 거리, 광결정을 구성하는 구멍의 반지름, 격자상수, 결합의 길이는 각 470, 150, 100, 370, 630 nm이다. 기존의 방향성 결합기만을 이용한 바이오센서는 그 결합되는 양에 있어서 그 소광비가 0.2로 매우 낮기 때문에 공진기의 높은 소광특성을 이용하여 감도 개선을 하였다.

그림 2는 방향성 결합기만을 사용했을 때와 사각형 링 공진기와 방향성 결합기 모두를 사용했을 때 굴절률 변화에 따른 출력과위의 변화량을 나타낸 그림이다.

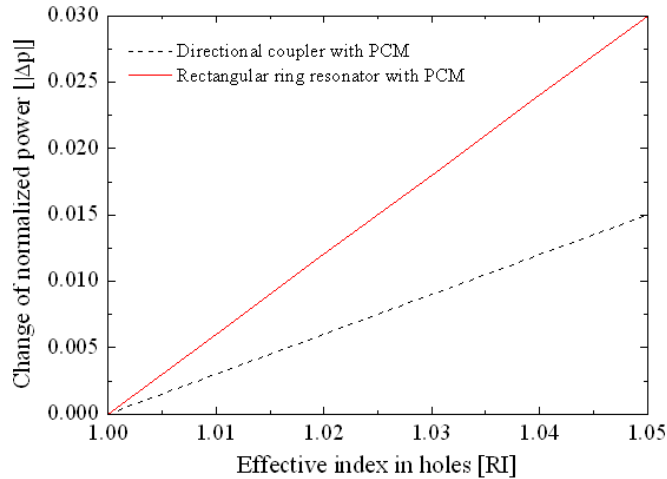


그림 2. 굴절률 변화에 따른 출력 파워의 변화량

빨간색 실선이 방향성 결합기가 포함된 사각형 링 공진기의 굴절률 변화에 따른 출력 파워의 변화량을 나타낸 것이고, 검정색 점선은 광결정을 포함한 방향성 결합기의 특성을 나타낸 것이다.

본 논문에서는 사각형 링 공진기를 이용함에 따라 각 전반사거울에서 손실이 발생하기에, Goos-Hänchen shift를 고려하여 반사손실을 0.57 dB로 최소화하였다. 전체 구조의 손실은 4개의 전반사 거울과 방향성 결합기의 손실을 고려하여 2.87 dB로 최적화되었다. 기존 광결정을 포함한 방향성 결합기에서 0.2의 낮은 소광비를 광결정이 포함된 방향성 결합기를 이용한 사각형 링 공진기를 설계하여 링 공진기의 높은 소광비로 개선하였다. 제안된 구조를 통해 유효굴절률의 10^{-2} 변화 당 0.003의 파워변화량을 10^{-2} 변화 당 0.006 변화로 감도를 2배 향상시켰다. 미비한 감도는 광결정 도파로를 사각형 링 공진기 옆에 연속적으로 추가 배열하여 개선할 수 있다.

1. E. Yablonovich, "Photonic band-gap structures," OSA. B, 10(2), (1993)
2. J. S. Foresi, P.R. Villeneuve, J. Ferrera, E. R. Thoen, G. Steinmeyer, S. Fan, J. D. Joannopoulos, L. C. Kimerling, Henry I. Smith, and E. P. Ippen., "Photonic-bandgap microcavities in optical waveguides," Nature, 390(13), (1997)
3. Sudeep Mandal and David Erickson, "Nanoscale optofluidic sensor arrays," Optics Express, 16(3), (2008)
4. Doo Gun Kim, Young Wan Choi, Jong Chang Yi, Youngchul Chung, Cem Ozturk, and Nadir Dagli., "Totalinternal reflection mirrors based ring resonators," IEEE, 17(9), 2005
5. John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Hoshua N. Winn, and Robert D. Meade., [Photonic crystals : molding the flow of light], Wiley-interscience, 243-279 (2007)