

# 이차원적으로 위치 이동 가능한 미세광섬유 결합 광결정 공진기

## Two-dimensionally relocatable microfiber-coupled photonic crystal resonator

김주영, 김명기, 서민교, 황인각\*, 이용희  
한국과학기술원 물리학과, \*전남대 물리학과  
callow@kaist.ac.kr

광결정 공진기(Photonic Crystal Resonator)는 파장 수준의 공간에 빛을 가두면서도 높은 품위값(Quality factor)을 가져 매질과 강한 상호작용을 가능케 한다. 많은 연구자들은 광결정 공진기 안에 하나의 양자점(Quantum Dot)을 위치시켜 단일광자원(Single Photon Source) 구현을 시도해오고 있는데<sup>(1)</sup>, 수십 나노 이하의 크기를 가지는 양자점 하나를 하나의 광결정 공진기 안에 위치시키는 일은 매우 도전적인 일이다. 이는 적어도 수십 나노 수준의 정렬 기술이 요구되기 때문도 있지만, 공정 전에 양자점의 위치를 확인하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 물론 위치적인 결합이 이루어져도 공진기의 공진파장이 양자점의 방출 파장과 맞지 않는다면 양자점과 강한 상호작용은 일어날 수 없다. 양자점과의 결합을 극대화하기 위해서는, 공정 후에 광결정 공진기의 특성, 위치나 공진주파수를 미세하게 조절할 수 있는 기술이 실제적으로 필요하다.

미세광섬유는 광결정 공진기의 빛을 효율적으로 추출하기 위해 사용되어져 왔으나 최근에는 광결정 도파로 위에 미세광섬유의 국소적인 접촉하는 것으로도 공진기가 만들어지는 것이 실험적으로 보고되었다<sup>(2)</sup>. 이를 이용하면 미세광섬유를 다시 올려놓는 과정만으로 광결정 도파로 위 원하는 곳에 공진기를 다시 생성할 수 있다.

본 연구에서는 이를 더욱 확장하여 어떠한 결합도 없는 광결정 패턴 위에 미세광섬유를 접촉시켜 어느 곳에서나 재형성이 가능한 광결정 공진기를 제안하고, 실험적으로 레이저 동작을 관찰하여 이를 확인하였다. 뿐만 아니라, 미세광섬유의 곡률을 조정하게 되면 공진기의 공진파장 역시 조정된다.

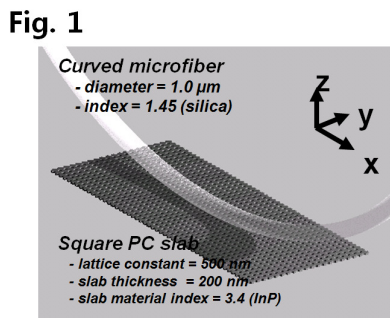


Fig. 1 휘어진 미세광섬유가 사각격자 광결정과 접촉한 모식도.

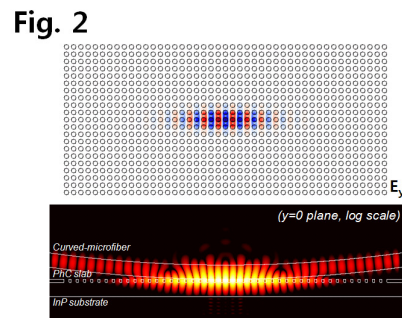


Fig. 2 (상) 3차원 유한요소 시간영역 방법으로 확인된 공진기 모드의 Ey field. (하) 전기장 세기 분포

Fig.3

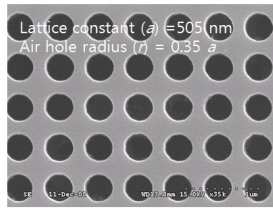


Fig.5

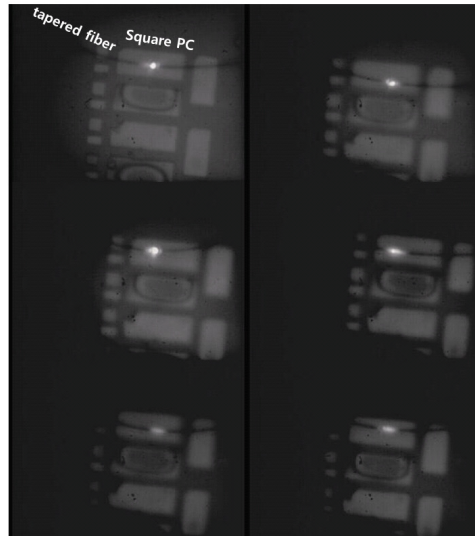


Fig.6

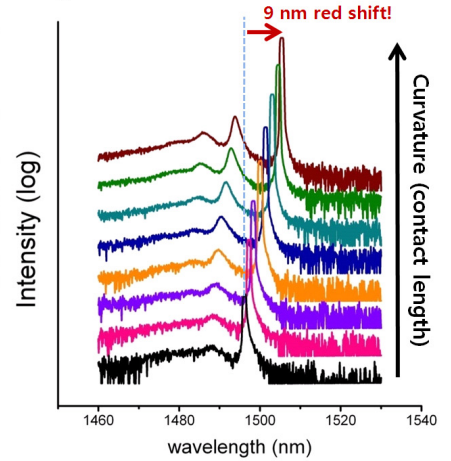
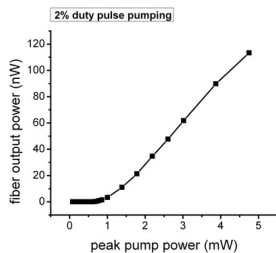


Fig. 4



(Fig. 3) 공정된 사각격자 SEM 사진 (Fig. 4) LL-curve. (Fig. 5) 미세광섬유의 접촉점 위치에 따른 IR CCD image. (Fig. 6) 미세광섬유의 접촉길이를 증가시키기에 따라 관측된 스펙트럼.

3차원 유한요소 시간영역 전산모사 결과, 미세광섬유가 접촉하게 되면, 접촉점 주변으로 공진모드가 잘 형성되었다 (Fig. 2). 공진기의 품위값(Quality factor), 미세광섬유와의 결합효율은 광섬유의 곡률 R=60  $\mu\text{m}$ 일 때, 19745와 75.2%로 매우 높은 결합효율을 갖는 동시에 큰 품위값을 갖는다.

공진모드를 확인하기 위해 InGaAsP 양자우물 4개가 중앙에 있는 200 nm 두께의 InP 박막에 격자상수(a) 505 nm, 공기구멍(r) 0.35a가 되는 사각격자 광결정을 제작하였다. 1 $\mu\text{m}$  두께로 늘어진 미세광섬유를 곡률 약 50  $\mu\text{m}$ 로 휘게 만들고, 980 nm 펄스 레이저를 흘려주는 동시에 WDM coupler를 이용하여 방출되는 빛을 같은 광섬유로 추출하여 스펙트럼을 관측하였다.

미세광섬유가 광결정 박막에 접촉하게 되면, 공진모드가 형성되어 1.5  $\mu\text{m}$  주변에서 레이저가 발진되었다. 미세광섬유가 이차원 광결정 패턴 위에 접촉하는 곳마다 발진되는 레이저의 수직방출 되는 빛이 여러 곳에서 포착되었다 (Fig. 5). 미세광섬유를 박막 쪽으로 더욱 밀게 되면 접촉된 지점에서 미세광섬유의 곡률이 변하게 되는데, 이를 통하여 9 nm에 해당하는 큰 공진파장 변화를 얻을 수 있었다.

이 공진모드를 이용하면 미세광섬유의 접촉 위치를 이동하여 공진위치를 선택할 수 있음은 물론 공진파장까지 조절할 수 있어, 향후 양자점 기반 연구에 매우 유용한 방법을 제공할 것이다.

참고문헌

1. K. Hennessy, A. Badolato, M. Winger, D. Gerace, M. Atatüre, S. Gulde, S. Fält, E. L. Hu, and A. Imamoglu, "Quantum nature of a strongly coupled single quantum dot-cavity system," Nature 445, 896-899 (2007).
2. Myung-Ki Kim, In-Kag Hwang, Min-Kyo Seo, and Yong-Hee Lee, "Reconfigurable microfiber-coupled photonic crystal resonator," Opt. Express 15, 17241-17247 (2007).