

광자 결정 공진기와 광섬유의 결합을 이용한 광 스위치

황인각, 김명기, 양진규, 이용희
 한국과학기술원 물리학과
 ikhwang@kaist.ac.kr

비선형 효과를 이용하면 순수하게 빛으로 제어되는 광 스위치나 광 메모리 등을 구현할 수 있으며, 이는 향후 초고속 정보처리를 위해 매우 중요한 기술로 떠오를 전망이다. 이러한 비선형 소자의 성능을 가름하는 것이 동작 속도, 그리고 비선형 동작에 요구되는 빛의 세기이다. 크기가 작고 품위값(Q)이 높은 광 공진기를 이용하여 동작 파워를 낮추는 연구가 진행되어왔다. 본 논문에서는, 공진기의 크기 대비 품위값이 매우 뛰어난 광자 결정 공진기를 이용하여 이러한 광 스위치를 구현하였다. 강한 비선형 효과를 얻을 수 있도록 양자우물을 가진 기판에 광자결정을 제작하였다. 최근에 발표된 광자결정 공진기 스위치의 경우에는 광자결정 도파로를 펌프/신호 광의 입출력 경로로 사용하였으나,⁽¹⁾ 본 연구에서는 광섬유와 광자결정 공진기의 광결합을 통해 직접 펌프/신호 광을 입출력 하였으며, 이로 인해 펌프/신호 광이 광자결정의 밴드갭 내에 존재해야 한다는 제한을 극복하였다. 따라서, carrier주입에 의한 비선형 효과에 효과적인 980 nm 펄스를 펌프로 사용하고, 양자우물의 흡수 스펙트럼 밖에 위치하는 1625 nm를 신호광으로 사용하였다.

광 스위치의 구조 및 실험 장치가 그림 1에 나타나있다. InGaAsP/InP 양자우물 기판 위에 선형 광자 결정 공진기를 제작하였다. 이 공진기의 구조는 특히 광섬유와의 결합 효율을 높이기 위한 목적으로 설계된 것이다.⁽²⁾ 일반 단일모드 광섬유를 테이퍼링 해서 1.5 μm 정도 굵기로 만들었으며, 여기에 급격한 구부림을 주어 공진기 위에 정렬하였다. 이 때 이 미세광섬유와 공진기 사이에는 감쇠파에 의한 광 결합이 일어나게 된다.

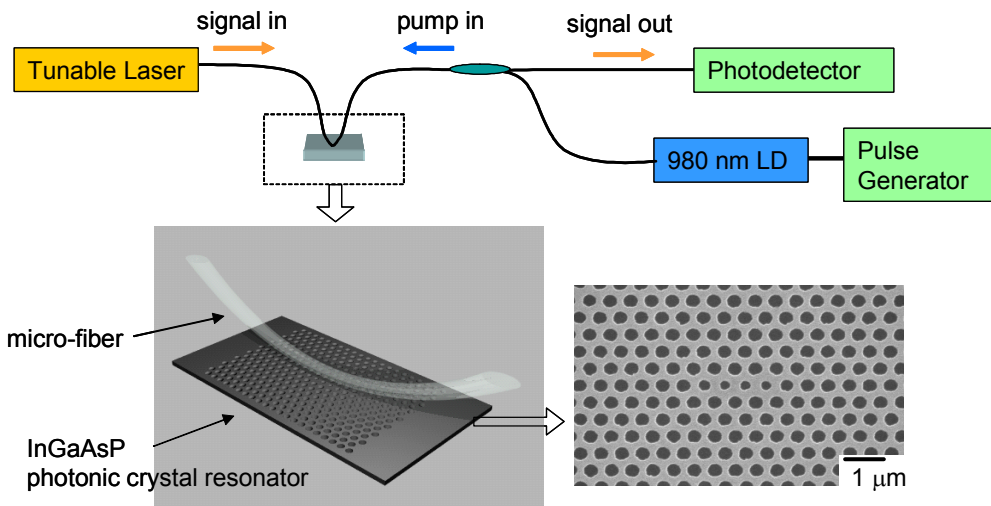


그림 1. 실험 장치. 980 nm 펌프광과 1625 nm 신호광 모두 미세 광섬유를 통해 광자결정 공진기로 결합된다.

먼저, 펌프광이 없는 상태에서 파장가면 레이저를 이용하여 광섬유의 투과 스펙트럼을 측정하여 그림 2 (좌)와 같은 결과를 얻었다. 1625 nm에 광자결정 공진기의 공진 모드가 존재함을 알 수 있다. 스펙트럼의 선폭으로부터 측정된 결합된 공진기의 Q는 1300이었다. InGaAsP 양자 우물의 발광 중심 파장은 1500 nm에 위치하고 있어, 1625 nm에서의 흡수 손실은 거의 무시할만하며, 제작 공정상의 오차로 인해 Q가 감소한 것으로 생각된다.

980 nm LD에서 발생된 펌프광은 WDM 결합기를 지나 공진기에 흡수된다. 이는 양자 우물에 carrier를 공급하게 되며, 이로 인해 물질의 굴절율이 감소하여 공진기의 공진 파장은 짧은 쪽으로 이동하게 된다. 이러한 carrier 주입에 의한 굴절율 변화는 수 ps 만에 발생하기 때문에, 고속 광처리에 적합하다.⁽³⁾ 파장 가변 레이저의 파장을 1623.5 nm에 고정하고, 펌프 펄스에 의한 투과율의 변화를 측정한 결과를 그림 2 (A)에 나타내었다. 20 GHz 광검출기로 측정한 펌프 펄스의 폭은 약 0.5 ns 였다. 펌프 펄스가 없을 때에는 높은 투과율을 보이다가, 펌프 펄스에 의해 공진 파장이 1623.5 nm로 이동함에 따라 투과율이 순간 작아짐을 볼 수 있다. 신호 파장을 1624.9 nm로 고정시켰을 때는, 반대로 투과율이 순간적으로 증가하는 양상을 나타낸다. (그림 2, B) 스위칭 시간은 2 ns이하로 측정되었는데, 이는 사용된 광검출기의 반응속도(125 MHz)에 의해 제한되었으며, 실제 스위칭 시간은 수 ps로 추정된다. 광섬유 테이퍼에서 손실된 스위칭 에너지는 약 300 fJ로서, 매우 작다. 본 실험에서 관찰된 1.5 nm의 공진파장 변화는 굴절율 변화로 환산했을 때, 약 2.5×10^{-3} 에 해당된다. 스위칭시 on-off의 비율은 약 20%였다. 여기서 스위칭 에너지와 on-off 비율은 모두 공진기의 Q값에 의해 크게 좌우된다. 만일 Q=10000 이상의 고품위 공진기를 사용하게 되면, 스위칭 에너지를 약 1/10로 낮추고, 90% 이상의 on-off 비율을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서는 광섬유-광자결정 공진기의 결합을 이용하여 carrier 주입에 의한 고속, 고효율의 광 스위칭을 구현하였다. 이 광섬유 결합 시스템을 이용하면 앞으로 다양한 광 공진기에서의 비선형 현상을 효과적으로 분석할 수 있으리라 생각된다.

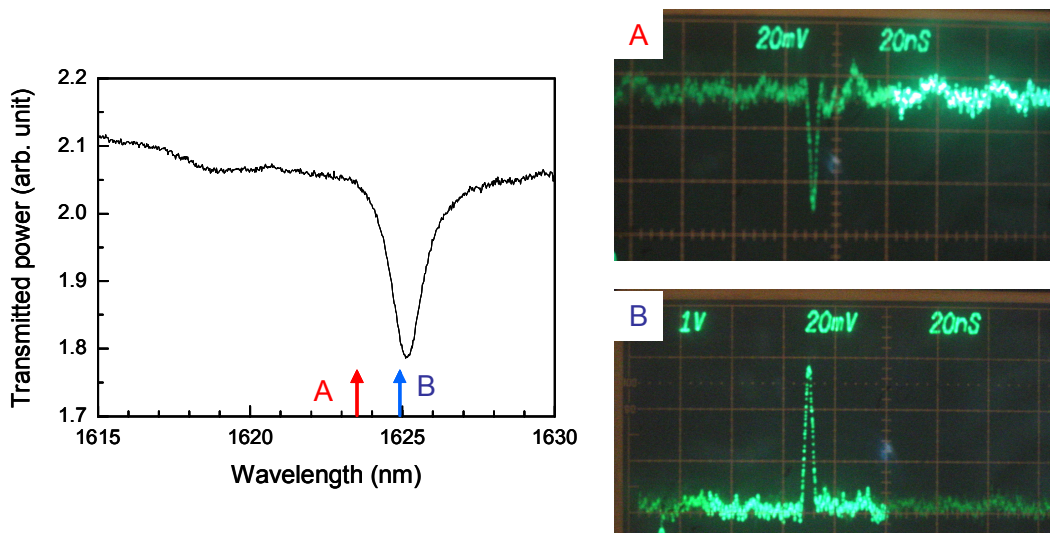


그림 2. 왼쪽: 신호광의 출력 스펙트럼, 오른쪽: 펌프 펄스에 의한 신호광의 스위칭. 신호광의 파장은 각각 (A) 1623.5 nm, (B) 1624.9 nm 였다.

1. T. Tanabe et al, "All-optical switches on a silicon chip realized using photonic crystal nanocavities," *Appl. Phys. Lett.* **87**, 15112 (2005)
2. I. K. Hwang et al, "Curved-microfiber coupling for photonic crystal light emitter," *Appl. Phys. Lett.* **87**, 131107 (2005)
3. F. Raineri, et al., "Ultrafast dynamics of the third-order nonlinear response in a two-dimensional InP-based photonic crystal," *Appl. Phys. Lett.* **85**, 1880 (2004)