

단일광펄스에 의한 느린빛 관측

Observations of a single pulse induced slow light

한준성*, 함병승

인하대학교 정보통신대학원, 광양자정보처리 연구단

*jshan0625@hanmail.net

초록: 본 논문에서는 광밀도가 매우높은 물질에서 단일광펄스에 의한 느린빛 현상을 관측하였다. 본 실험결과와 기존의 다른 방식에 의한 느린빛 현상의 장/단점을 비교 검토한다.

OCIS: Coherent optical effects (020.1670),

지난 10여 년간 광 정보처리 분야에서는 광통신을 컴퓨터에 적용하기 위한 방법의 하나로써 느린 빛을 연구해 왔다. 데이터 처리를 위해 신호를 임시적으로 보관(buffering)하는 방법은 중요하다. 최근, IBM의 연구진은 느린 빛의 실용화를 위해 실리콘 기반의 chip 위에서 micro-ring resonator를 이용한 optical buffer를 구현하였다⁽¹⁾.

빛의 군속도를 제어하기 위해서는 빛이 통과하는 매질의 흡수 스펙트럼을 변화시켜야 한다. 매질의 흡수 스펙트럼의 변화를 통해 굴절률을 조절하고, 이를 통해 군속도를 조절할 수 있다. 빛을 흡수하는 매질 속을 진행하는 빛은 빛이 흡수됨에 따라 굴절률의 변화를 느끼고 천천히 진행하게 된다. 하지만 빛이 흡수되므로 에너지 손실이 클 수밖에 없어 현실적으로 적용하기에는 무리가 따른다. 위의 고리형 공진기를 이용한 느린 빛 실험에서 보면, 매질에 의한 빛의 흡수는 없지만 공진기 대역과 신호처리 속도관계의 역비례관계나 실제적으로 낮은 Q값으로 인해 군속도 지연 시간이 다소 짧다.

전자기 유도 투과나⁽²⁾ 결맞음 원자 밀도 진동⁽³⁾에서는 양자 결맞음 제어를 통해 매질의 스펙트럼 변화를 유도/이용한다. 특히 전자기 유도 투과에서는 빛이 흡수되지 않는 공명 조건을 만들어 매질의 굴절률을 변화시킬 수 있다. 이 현상을 이용한 느린 빛 실험에서는 광밀도가 매우 높은 매질임에도 불구하고 에너지 손실이 적은 빛의 군속도 느림이 증명되었다⁽⁴⁾.

본 논문에서는 앞서 언급한 종류의 느린빛 실험과는 다르게 광밀도가 매우 높은 매질에서 단일 주파수의 빛을 이용하여 느린빛을 증명하였다. 전자기 유도 투과에 의한 느린 빛 실험에서는 두 개 이상의 다른 주파수를 가지는 빛을 이용하게 되지만 본 실험에서는 하나의 빛만을 사용하였다. 사용된 매질은 Pr^{3+} 이온이 불순물로써 첨가된 Y_2SiO_5 크리스탈이다. 이 희토류 크리스탈은 수 GHz의 비균질 선폭을 갖는 반면, 균질 선폭은 수 KHz에 불과하다. 따라서, 단일 주파수를 갖는 빛을 이용하여 넓은 비균질 선폭 속에 균질 선폭에 해당하는 매우 좁은 선폭의 스펙트럼 터널을 만들 수 있는데 이는 여러개의 바닥 준위를 갖는 매질에서의 spectral hole-burning이라는 현상에 기초한다. 물론 현실적으로 터널선폭은 레이저의 주파수 떨림에 의존한다. 본 실험에서는 200kHz 이하의 선폭을 갖는 레이저를 사용하였다.

그림 1은 본 실험에 사용되는 Pr:YSO 에너지 준위를 나타낸다. 바닥상태의 세 개 미세구조와 들뜬상태의 세 개 미세구조를 이용하게 되는데, P는 신호빛으로서 군속도 변화를 측정하는 데 사용되었다. 또한, 빛의 군속도를 더 낮추어 주기 위하여 다른 주파수를 가지는 빛(R1, R2)을 펄핑 빛으로 이용하게 되면 준위 $|2\rangle$ 의 원자 밀도를 최대 3배까지 높여 주게 되어 매우 느린 군속도를 보임을 관측하였다 (그림 2):

$$v_g = \frac{c}{[n + w(dx/dw)]} \propto \frac{1}{N},$$

c는 진공에서의 빛의 속도, n은 광매질의 굴절률, χ 는 자화율, N은 원자의 개수이다.

R1/R2에 의해 준위 $|2\rangle$ 의 원자 개수가 증가시키면, 빛의 군속도 지연은 참고문헌 4의 EIT방식에 의한 수준까지 늘어나게 된다. (그림 2). 본 단일광펄스에 의한 느린 빛 관측은 광버퍼메모리와 양자메모리 응용에 유용한 방법을 제공하게 될 것이다.

본 논문은 과학기술부/과학재단 창의적연구진흥사업 (광양자정보처리연구단)에 의해 지원되었습니다.

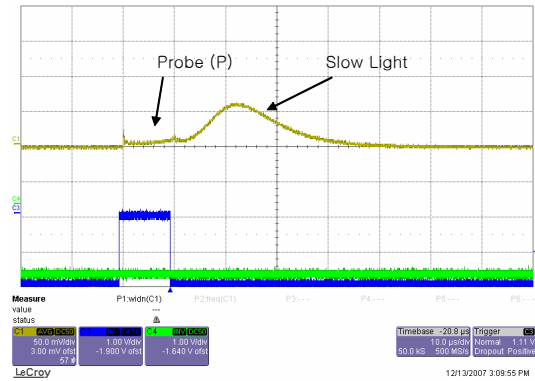
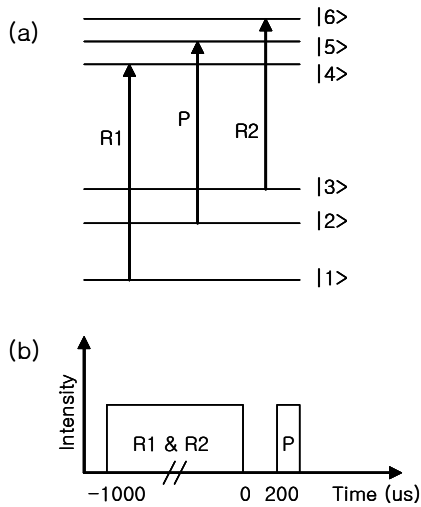


그림 1. (a) 에너지 준위 및 (b) 사용된 펄스 그림 2. 10us 단일 펄스에 의한 느린 빛

참고문헌

1. F. Xia, L. Sekaric, and Y. Vlasov, "Ultracompact optical buffers on a silicon chip", Nature Photonics **1**, 65 (2006)
2. S.E. Harris, "Electromagnetically induced transparency," Physics Today **50**(7), 36 (1997).
3. M.S. Bigelow, N.N. Lepeshkin, R.W. Boyd, "Superluminal and slow light propagation in a room-temperature solid," Science **301**, 200 (2003).
4. A.V. Turukhin, et al, "Observation of Ultraslow and Stored Light Pulses in a Solid," Phys. Rev. Lett. **88**, 023602 (2002).