

^{87}Rb D₁ 선에서 4광파 혼합을

이용한 느린 빛

Slow light using the 4-wave mixing in a ^{87}Rb D₁ line

배인호, 문한섭*

부산대학교, 물리학과

hsmoon@pusan.ac.kr

원자결맞음 효과인 전자기 유도 투과 현상이 발견된 이후에 분산특성과 결맞음 효과에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다.⁽¹⁾ 초기 전자기 유도 투과에 관한 연구들은 전자기 유도 투과의 특성과 여러가지 에너지 준위에서 관련된 중요한 결과들을 내놓았으며, 이후에 전자기 유도 투과를 이용하여 빛의 속력을 감속시키는 느린 빛 (slow light), 빛을 저장하는 빛 저장 (light storage) 실험, 공간적인 주기성에 의한 빛의 회절을 관찰하는 전자기 유도 회절격자 (electromagnetically induced grating) 등이 여러가지 실험과 이론 결과들을 내놓았다.⁽²⁻⁴⁾ 전자기 유도 투과는 빛이 공명하는 매질에서 이광파 공명을 만족할 때 투과가 일어나게 되는 현상으로, 도플러 효과에 의한 선형흡수신호와와는 다르게 원자의 자연선폭보다 더 좁은 선폭의 신호가 투과된다. 이때, 빛이 펄스의 형태가 되면 군속도의 변화가 군굴절율에 따라서 일어나게 되는데, 전자기 유도 투과 현상의 분산효과가 좁은 주파수 영역에서 크게 일어나기 때문에 빛의 군속도가 급격히 감속하게 된다. 본 연구에서는 전자기 유도 투과 (electromagnetically induced transparency) 현상의 분산특성을 이용하여 빛 펄스의 군속도를 감속시키고, 동시에 4광파 혼합이 일어날 때 생성되는 투과와 반사 펄스의 속도변화를 측정하였다.

느린 빛의 경우에는 전자기 유도 투과 현상의 분산적인 특성을 이용하여 빛의 속력을 감속시키는 많은 연구가 이루어져 왔지만, 본 연구에서 수행한 4광파 혼합을 이용하게 되면 전자기 유도 회절격자의 형태로 펄스 진행을 시키는 경우 투과 펄스와 함께 반사 펄스가 생성되는데, 투과 펄스와 함께 반사펄스의 속도변화도 관찰할 수 있었다. 실험에 이용된 ^{87}Rb 원자의 에너지 준위는 그림 1에 나타나있다. ^{87}Rb 원자의 D₁ 선에서 결합광은 $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{1/2}$ ($F=1 \rightarrow F'=2$) 전이선에 공명하는 주파수를 가진 결합광을 이용하여 결합광을 조사구에 광 주입 잠금하여 $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{1/2}$ ($F=2 \rightarrow F'=2$) 전이선에 공명하는 결맞음 광원을 만들어 사용하였다. 전자기 유도 회절 격자를 만들기 위해서 결합광을 정상파 형태로 만들고 조사광을 보내어 4광파가 혼합된 상태에서 투과광과 반사광으로 생성하여 검출한 뒤에, 임의 파형 발생기에서 펄스를 발생시켜, 펄스의 속도변화를 측정하였다.

참조 펄스(reference pulse)를 기준으로 4 광파 혼합이 되었을 때, 빛의 투과 펄스와 반사 펄스의 도달시간을 상대적으로 비교분석하였으며 그림 2와 같이 측정할 수 있었다. 투과된 펄스의 경우 약 2 μs 의 도달시간 지연이 측정되었고, 최고 수십 μs 까지 지연시간을 측정할 수 있었다. 지연시간을 측정하게 되면, 다음과 같은 식으로 빛의 군속도와 군굴절율을 계산할수있다.

$$\Delta T = T_g - \frac{L}{c} = \frac{L}{c}(n_g - 1), \quad v_g = \frac{cL}{c\Delta T + L}$$

투과광의 경우 참조 펄스와 광경로가 동일하기 때문에 빛의 지연시간(delay time)을 정확하게 측정할 수 있지만, 반사광 펄스의 경우에 빛의 경로가 다르기 때문에 여러 가지 변화에 따른 경향성의 측정에 초점을 두었다. 우리는 투과광 펄스와 반사광 펄스의 특성을 조사광과 결합광의 파워, 온도, 그리고 회절격자의 대비도(contrast)에 따라 측정한 결과를 발표할 예정이다.

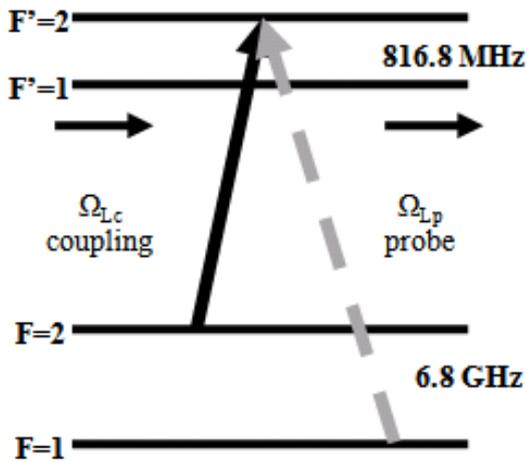


그림 1. ⁸⁷Rb원자의 에너지 준위.

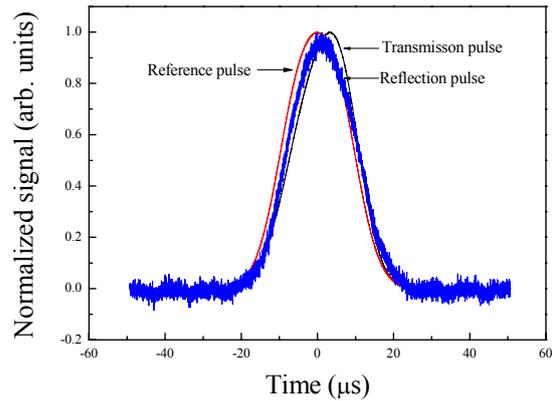


그림 2. 투과광 펄스와 반사광 펄스의 속력 변화

1. K.-J. Boller, A. Imamolu, and S. E. Harris, "Observation of electromagnetically induced transparency," Phys. Rev. Lett. 66, 2593 (1991).
2. M. Bajcsy, A. S. Zibrov, and M. D. Lukin, "Stationary pulses of light in an atomic medium," Nature 426, 638-641 (2003).
3. L. V. Hau, S. E. Harris, Z. D. and C. H. Behroozi, "Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas," Nature 397, 594-598 (1999).
4. In-Ho Bae, Han Seb Moon, Min-Koeung Kim, Lim Lee, and Jung Bog Kim, "Electromagnetically induced Bragg reflection with a stationary coupling field in a buffer rubidium vapor cell," Applied Optics 47, 4849-4855 (2008).