

# Λ-형 원자 준위계에서 원자 결맞음성을 이용한 광 펄스의 전파 특성 조절

## Coherent Control of Light-pulse Propagation in a Λ-type Atomic System

오명규, 이원규\*, 최원식\*\*, 이재형\*\*, 안경원\*\*

광주과학기술원 고등광기술연구소 레이저분광학연구소, \*한국표준과학연구원, \*\*서울대학교 물리학과  
omkyu@gist.ac.kr

본 연구에서는 사마륨 (Sm) 원자에서 원자빔을 이용한 고분해능 분광학 실험과 이 결과에 기초하여 Λ-형 원자 준위계를 전파해 가는 결맞은 나노초 광펄스들이 일으키는 원자 결맞음 현상들과 이를 이용한 광펄스의 전파 특성 조절에 관하여 실험적인 연구를 수행하였다[1].

분광학 연구에서는 레이저-원자빔 형광 여기 분광법을 사용하여  $4f^5 5d 6s^2 \ ^7H^{\circ}_J$  와  $4f^6 6s6p \ ^7F^{\circ}_J$  configuration에 존재하는 15개 레벨들의 (fine structure levels) 동위원소 전이선과 초미세 구조를 1 MHz 이하의 분해능으로 측정하였다.

결맞음을 이용한 광펄스의 전파 특성 조절 실험에서는, Λ-형 준위계를 위하여 Sm의  $4f^6 6s^2 \ ^7F_4$ ,  $^7F_5$  와  $4f^5 5d 6s^2 \ ^7H^{\circ}_5$  등의 에너지 준위들이 사용되었다. 펌프광으로서 단일 종모드로 발진하는 Q-스위치 Nd:YAG 레이저의 제2차 조화파가, 탐색광으로 펄스 색소 레이저가 사용되었다. 이에 강한 펌프광에 의하여 탐색광 레이저 펄스의 투과성이 증가하는 것과 라만 이득이 생기는 현상을 관측하였다. 탐색광의 유도 투과 증가는 2광자 공명 조건에서 펌프광의 세기가 클 때 약 90% 이상이 되는 것을 확인하였다. 동일한 실험에서 라만 이득도 관측되었는데, 이는 Λ-형 3준위계의 펌프 레이저 공명 전이선의 바닥상태의 전자 밀도에서 기인하였다. 펌프광과 탐색광의 주파수 어긋남, 펌프의 라비 주파수, 펄스 간 시간 간격, 펄스들의 편광 조건 등을 바꾸어 가며 다양한 조건에서 탐색광의 투과성과 라만 이득을 측정하였다. 이로부터, 라만 이득과 흡수의 위치 변화는 단장상태의 전형적인 특성들을 보여 주지만, 라만 이득의 경우는 정상 상태가 아닌 과도적인 과정에 있는 단장 상태 (dressed states)에서만 나타날 수 있는 독특한 특성을 보임을 발견하였다[2],[3].

자체 개발한 알고리즘에 의한 체계적인 수치해석적 연구를 통해, 본 연구에서 사용한 Λ-형 준위계가 adiabatic following이 잘 일어나지 않는 시스템이라는 것이 확인되었고, 이를 통해 본 실험에서 관측한 탐색광의 유도 투과성이나 라만 이득은 전자기 유도 투과 (EIT)에 의한 것 보다는 과도적인 과정에 있는 단장 상태의 밀도 동역학적 결과와 에너지 준위의 이동으로 더 잘 설명 될 수 있었다.

그리고, 중간 정도 세기의 탐색광에서 일어나는 자체집속 및 확산에 대한 강한 펌프광의 영향을 연구하였다. 2광자 공명 조건에서 강한 펌프광에 의하여 탐색광의 자체집속, 자체 확산, 자기 위상 변조 효과 등이 사라짐을 관측할 수 있었다[4]. 이 결과들은 탐색광의 Kerr 효과가 펌프광의 영향으로 작아지거나 없어져서 생겨난 것인데, 이는 다시 단장상태 효과에 의한 에너지 준위의 이동과 단장상태의 두 에너지 준위가 일으키는 Kerr 효과들이 서로 상쇄되는 사실로부터 설명될 수 있다.

1. Myoung-Kyu Oh, et al., "Measurement of hyperfine structures and isotope shifts in  $4f^66s6p$  and  $4f^55d6s^2$  of atomic samarium", Spec. ACTA B 59, 1919 (2004)
2. Andrew D. Greentree, T.B. Smith, S.R. de Echaniz, A.V. Durrant, J. P. Marangos, D.M. Segal, and J.A. Vaccaro, "Resonant and off-resonant transients in electromagnetically induced transparency: Turn-on and turn-off dynamics", Phys. Rev. A. 65, 053802 (2002)
3. W.E. van der Veer, R.J.J. van Diest and A. Donszelmann, "Experimental demonstration of light amplification without population inversion", Phys. Rev. Lett. 70, 3243 (1993)
4. Maneesh Jain, et al., "Elimination of Optical Self-Focusing by Population Trapping", Phys. Rev. Lett. 75, 4385 (1995)

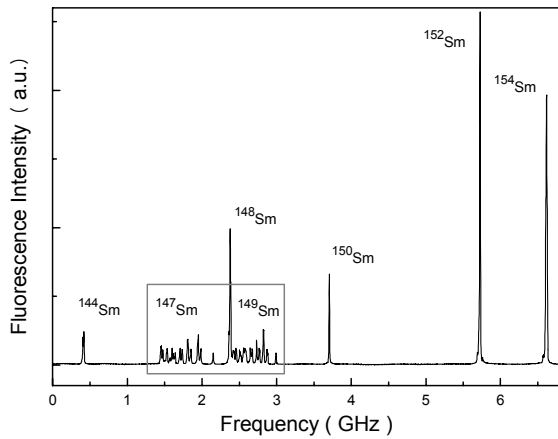


그림 1. 원자빔-레이저 여기 형광 분광법을 이용하여 얻은 원자 사마륨 (Sm)의 555.04 nm ( $J_g=3$ ,  $J_e=3$ ) 전이선에서 동위원소 전이선 및 초미세 구조 스펙트럼.

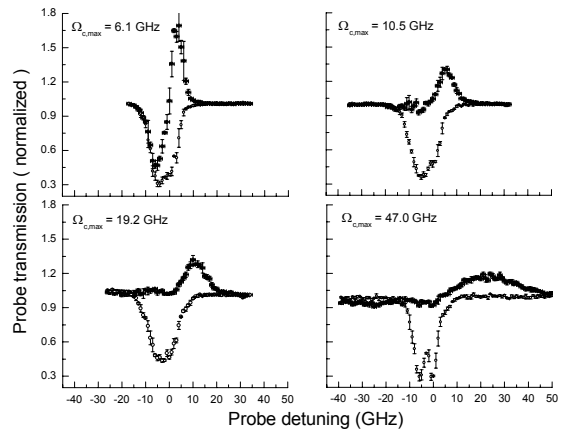


그림 2. 원자 Sm의  $\Lambda$ -형 준위계에서 펌프 세기에 따른 탐색광의 투과 세기 변화. 펌프가 강해질수록 탐색광의 이득과 흡수의 이동이 커지는 것을 보임.

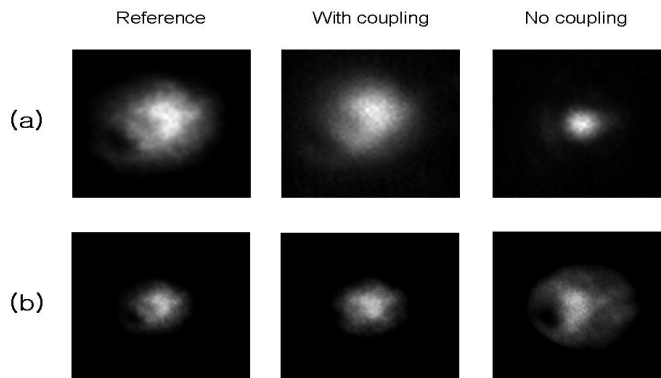


그림 3. 2광자 공명 조건에서 강한 펌프광에 의하여 자체집속과 (a) 자체확산이 (b) 제거 되는 실험 결과. 펌프광의 라비 주파수가 60 GHz, 탐색광의 라비 주파수가 2.7 GHz. 탐색광과 펌프광의 주파수 어긋남이 같으며 (a)에서 10 GHz, (b)에서 -7 GHz 임.