

루비듐 원자의 사다리형 전자기 유도 투과에 결합광 세기 효과

Coupling-intensity Effects in Ladder-type Electromagnetically Induced Transparency in Rb atoms

문한섭, 이림*, 김종복*
한국표준과학연구원, 광기술표준부
*한국교원대학교, 물리교육과
hsmoon@kriss.re.kr

전자기 유도 투과(electromagnetically induced transparency ; EIT)¹는 원자의 공명 진동수를 갖는 조사광이 원자 매질을 통과할 때 강한 결합광에 의하여 매질에 흡수되지 않고 투과하는 양자 간섭 효과로써 원자결맞음 상호작용의 가장 대표적인 현상 중의 하나이다. Boller 등이 고출력 펄스 레이저를 이용하여 스트론튬 증기에서 EIT 신호를 처음으로 관측한² 이후 여러 종류의 원자 증기, 원자 빔, 고체, 냉각된 원자, 그리고 BEC(Bose Einstein condensate)상태에서 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 최근에는 EIT 현상을 이용한 광정보 저장, 광통신 스위치 개발 및 초정밀 자계 개발 등에 활발하게 응용되고 있다.

대부분의 EIT에 대한 연구는 Λ 형, V형, 그리고 사다리형(ladder)형과 같은 3준위 원자계를 바탕으로 진행되고있다³. 본 연구에서 관심을 가지고 있는 사다리형 EIT는 Λ 형과 V형 EIT구도와 다른 특징을 가지고 있다. 첫째, 도플러 확대된 원자계의 사다리형EIT는 이광자 공진조건을 만족시키기 위하여 조사광과 결합광이 서로 반대방향으로 진행하는 정렬을 한다. 둘째, 사다리형 EIT 스펙트럼에는 그림 1에서 보는 것과 같이 여기준위의 초미세 구조는 좁은 에너지 간격을 가지고 이러한 원자 에너지 구조적인 특성 때문에 여기준위의 초미세 구조가 나타난다. 이러한 두 가지 특징 때문에 조사광과 결합광의 편광조합에 따라서 EIT 초미세 구조의 변화에 대한 연구가 가능했었다⁴.

EIT신호의 크기는 자발방출률, 결합광의 라비진동수, 그리고 레이저의 선폭과 밀접한 관련이 있다[12]. 결합광의 라비진동수는 전기 쌍극자 모멘트와 전기장의 곱이기 때문에 EIT신호의 크기는 레이저의 편광 뿐만 아니라 결합광의 세기에 큰 영향을 받는다. 그러나, 결합광 세기에 따른 효과는 단지 EIT신호에서 전체적인 크기에만 영향을 줄 것으로 예상되지만, 우리는 결합광의 세기에 따른 EIT 초미세 구조의 변화를 관측할 수 있었다.

우리는 ^{87}Rb 원자의 $5S_{1/2}(F=2)-5P_{3/2}(F'=1,2,3)-5D_{5/2}(F''=2,3,4)$ 전이선에서 결합광의 세기에 따른 EIT 초미세 구조의 변화를 조사하였다. 그림 1은 조사광과 결합광의 편광이 우원편광(s+)인 조건에서 결합광의 세기에 따른 EIT스펙트럼이다. 이 때 조사광의 세기는 약 1.1 mW/cm^2 이었다. 그림 1에서 초미세구조 $5D_{5/2}(F''=3)$ 과 $5D_{5/2}(F''=4)$ 의 상대적인 크기를 비교해보면, 결합광의 세기에 따라서 EIT초미세구조의 상대적인 크기가 변하고 있음을 관측된 스펙트럼을 통해서 확인할 수 있다. 그림 2(a)는 결합광의 세기에 따른 두 신호의 상대적인 크기를 분석하기 위해서 그림 1의 스펙트럼으로부터 $5D_{5/2}(F''=3)$ 과 $5D_{5/2}(F''=4)$ 의 크기를 결합광의 세기에 대해서 나타낸 것이다. 결합광의 세기가 0인 곳은 흡수는 선형흡수에 의한 것이다. 결합광의 세기가 증가함에 따라서 전자기 유도 투과에 의해서 흡수는 줄어들고 있고, 결합광의 세기에 대해서 흡수는 비선형적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. EIT 초미세 구조의 상대적

인 크기를 분석하기 위해서 그림 2(a)의 결과를 각 결합광의 세기에 따라서 $5D_{5/2}(F''=3)$ 의 흡수 정도를 기준으로 $5D_{5/2}(F''=4)$ 의 상대적인 흡수 정도를 그림 2(b)로 표현하였다. 결합광의 세기와 무관하게 EIT초미세구조의 상대적인 크기가 일정하게 유지되었다면, 두 신호의 상대적인 흡수 정도는 선형성을 보였겠지만, 그림 2(b)의 결과는 결합광의 세기에 따라서 EIT초미세구조의 상대적인 크기가 달라짐을 의미한다. 이와 같이 결합광의 세기에 따라 신호의 크기가 달라지는 이유는 광의 세기에 대하여 원자계가 비선형적으로 상호작용하기 때문이라는 사실을 본 논문을 통해서 밝힐 수 있었다.

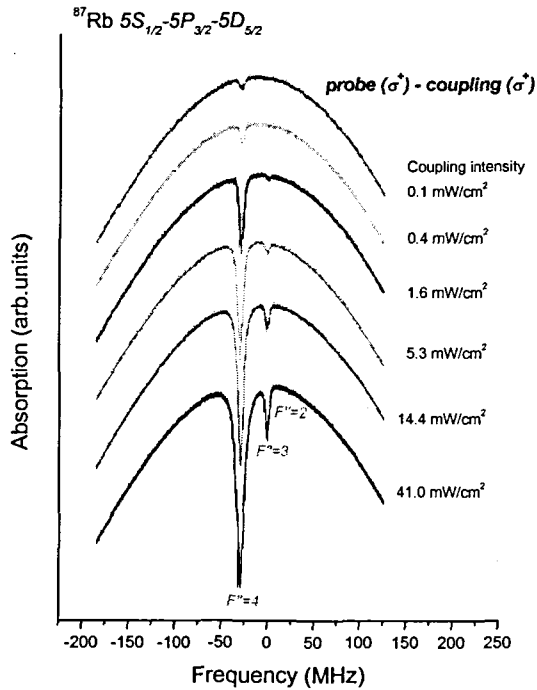
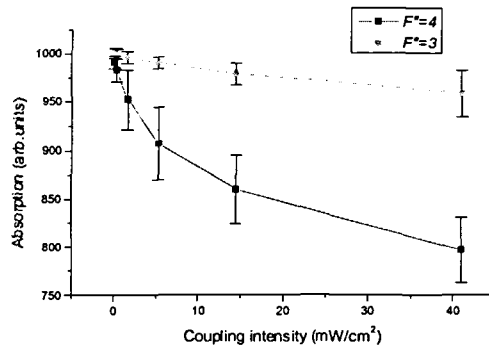
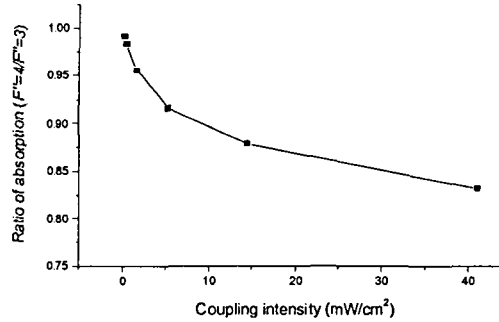


그림 1 결합광의 세기에 따른 EIT스펙트럼



(a)



(b)

그림 2 결합광의 세기에 따른 EIT의 상대적인 크기 분석

1. S. E. Harris, "Electromagnetically induced transparency", Phys. Today, vol. 50, no. 7, pp. 36-42 (1997).
2. K. J. Boller, A. Imamoglu, and S. E. Harris, "Observation of electromagnetically induced transparency", Phys. Rev. Lett. vol. 66, no. 1, pp. 2593-2596 (1991).
3. David J. Fulton, Sara Shepherd, Richard R. Moseley, Bruce D. Sinclair, and Malcolm H. Dunn, "Continuous-wave electromagnetically induced transparency: A comparison of V, Lambda, and cascade systems", Phys. Rev. A vol. 52, no. 3, pp. 2302-2311 (1995).
4. D. McGloin, M. H. Dunn, and D. J. Fulton, "Polarization effects in electromagnetically induced transparency", Phys. Rev. A vol. 62, pp. 053802-1 - 053802-6 (2000).

T
F