

루비듐원자에서 이중공명 광펌핑

Double resonance optical pumping in Rb atoms

문한섭, 이림*, 김중복*

한국표준과학연구원, 광기술표준부

*한국교원대학교, 물리교육과

hsmoon@kriss.re.kr

원자나 분자의 여기준위 사이 전이선은 레이저 쿨링, 광 이온화, 그리고 광통신 파장에서의 광주파수 표준 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 그러나 여기준위 사이 전이선에서의 고분해 분광은 열평형 상태에서 여기준위의 밀도가 낮기 때문에 바닥준위를 포함한 전이선에서의 분광과비교할 때 스펙트럼을 얻는데 어려움이 있다.

여기준위사이의 분광 스펙트럼을 얻기 위해서는 바닥준위에 있는 원자의 일부를 여기준위로 전이시킬 필요가 있다. 원자를 여기준위로 전이시키는 방법은 전자충돌을 이용한 충돌방법과 광펌핑을 이용한 광공명 방법이 있다. 특히, 광펌핑을 이용하여 여기준위 사이의 분광 스펙트럼을 얻는 방법으로 광-광 이중공명(optical-optical double resonance; OODR)이 잘 알려져 있다. OODR은 그림 1(a)와 같이 펌프 광을 이용하여 바닥준위의 원자를 1차 여기상태로 만들고, 1차 여기준위($|e_1\rangle$)와 2차 여기준위($|e_2\rangle$)에서 공진하는 조사광의 흡수 스펙트럼을 직접 측정하는 분광 방법이다. 이러한 방법으로 H. Sasada는 Rb원자의 5S-5P-6S전이선과 5S-5P-4D전이선을 이용하여 1.3 μm 와 1.5 μm 파장영역의 전이선에 대한 파장을 측정하였고¹, S. L. Gilbert와 M. Breton 등은 광섬유 레이저와 DFB레이저의 주파수를 ^{87}Rb 원자의 5P_{3/2}-4D_{5/2} 전이선에 안정화시켰다^{2,3}. 그러나, 이 방법은 광출력에 의한 스펙트럼의 선폭확대와 자발방출에 의한 여기준위의 낮은 원자밀도 때문에 스펙트럼의 분해능을 떨어뜨려서 좁은 간격의 스펙트럼을 분해하기 어렵고 스펙트럼의 신호대잡음비가 낮다는 문제점을 개선할 필요가 있다.

최근에 우리는 OODR이 가지고 있던 단점들을 개선하여 여기준위 사이 전이선에서 고대비 & 고분해 분광 스펙트럼을 얻을 수 있는 방법을 제안했다⁴. 우리는 이 방법을 이중공명 광펌핑(double resonance optical pumping; DROP) 이라고 부른다. DROP은 그림 1(b)에서 보는 것처럼 바닥준위($|g_2\rangle$)에 원자가 이중공명에 의해서 최상 여기준위($|e_2\rangle$)까지 전이된 후 자발방출에 의해서 레이저와 상호작용이 없는 다른 바닥준위($|g_1\rangle$)로 광펌핑되는 원리를 이용하여 바닥상태($|g_2\rangle$)의 원자밀도 변화를 통해서 여기준위사이($|e_1\rangle$ - $|e_2\rangle$)의 에너지 구도를 조사하는 방법이다. ^{87}Rb 원자의 5S_{1/2}-5P_{3/2}-4D_{3/2} 전이선에서 OODR과 DROP을 비교했을 때, 우리는 DROP 스펙트럼의 신호잡음비가 약 10배 개선되었음을 보였다.

그림 2는 ^{87}Rb 원자 5P_{3/2}-4D_{3/2}과 4D_{5/2} 전이선의 DROP스펙트럼이다. 이 DROP 스펙트럼은 780 nm 레이저(L1)를 5S_{1/2}(F=2) \rightarrow 5P_{3/2}(F'=3) 전이선에 안정화하고 1529 nm 레이저(L2)를 약 20 GHz 범위에서 주사하면서 L1레이저를 검출하여 얻은 것이다. 두 전이선 4D_{3/2} 과 4D_{5/2} 의 DROP스펙트럼은 약 14 GHz 떨어져 있고, ^{87}Rb 원자는 1차 여기상태 5P_{3/2} 와 2차 여기상태 4D_{3/2} 과 4D_{5/2} 사이에 각각 1529.26 nm와 1529.37 nm의 공진파장을 가지고 있다. 이 때 L1과 L2 레이저의 출력은 각각 78 μW 와 0.5 mW였다.

DROP스펙트럼은 바닥상태($5S_{1/2}(F=2)$)의 원자가 다른 바닥상태($5S_{1/2}(F=1)$)로 광펌핑이 일어나는 효과로 인해 바닥상태($5S_{1/2}(F=2)$)의 밀도가 줄어들면서 조사광의 투과로 나타난다. 780 nm 레이저가 $5S_{1/2}(F=2) \rightarrow 5P_{3/2}(F'=3)$ 전이선에 안정화되어 있기 때문에 1차 여기준위로 전이가 일어나면서 바닥상태($5S_{1/2}(F=2)$)의 원자밀도에 비례하여 약 16 %의 광을 흡수하는데, 이 때 1529 nm 레이저에 의해서 1차 여기상태와 2차 여기상태사이에 공진이 일어나면서 2차 여기상태로 된 원자들의 일부가 자발방출에 의해서 레이저와의 상호작용이 없는 다른 에너지 상태($5S_{1/2}(F=1)$)로 빠져나가기 때문에 바닥상태($5S_{1/2}(F=2)$)의 원자밀도를 줄이는 역할을 한다.

본 연구에서 우리는 ^{87}Rb 원자의 $5P_{3/2}-4D_{3/2}$ 과 $4D_{5/2}$ 전이선에서 DROP스펙트럼에 영향을 줄 수 있는 레이저의 세기, 편광, 그리고 정렬방법에 따른 이중공명 광펌핑(double resonance optical pumping; DROP) 분광 스펙트럼의 특성을 조사했다. 우리는 스펙트럼의 선폭과 크기 등에 영향을 주는 DROP스펙트럼에서 레이저의 세기에 따른 효과를 $5P_{3/2}-4D_{3/2}$ 전이선과 $5P_{3/2}-4D_{5/2}$ 전이선에서 각각 관측하고 결과를 분석하고, DROP스펙트럼의 상대적인 크기의 변화가 예상되는 레이저의 편광에 따른 효과를 조사하였다. 마지막으로 Doppler확대가 있는 원자계에서는 스펙트럼의 선폭에 큰 영향을 줄 수 있는 두 레이저의 정렬방향에 따른 DROP 스펙트럼의 변화를 조사하였다.

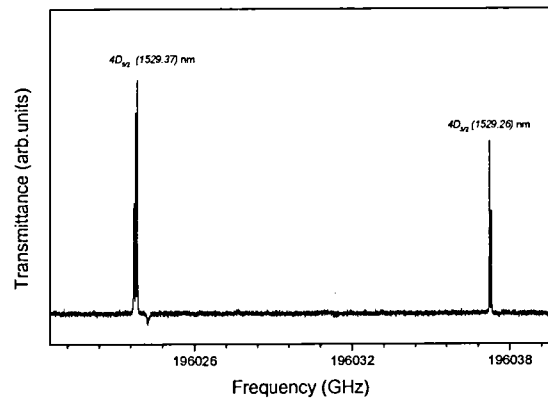
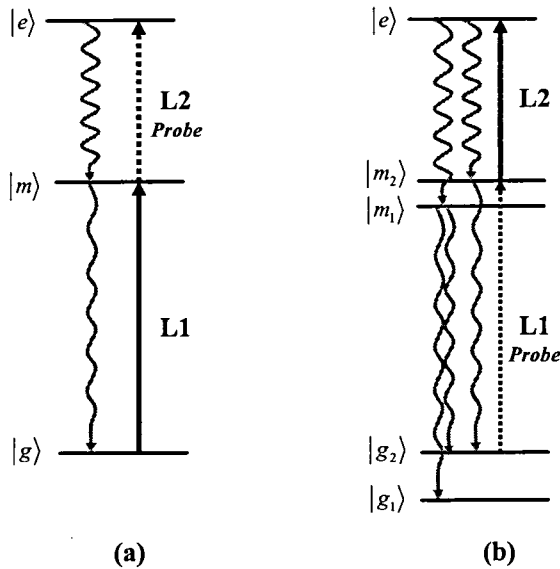


그림 1. (a) 광-광 이중공명(optical-optical double resonance; OODR); (b) 이중공명 광펌핑(double resonance optical pumping; DROP)

그림 2. ^{87}Rb 원자의 $5P_{3/2} \rightarrow 4D_{3/2}$ 과 $4D_{5/2}$ 전이선에서의 전형적인 DROP 스펙트럼

참고문헌

[1] H. Sasada, IEEE Phot. Technol. Lett., Vol. 4, No. 11, pp. 1307-1309 (1992).
 [2] S. L. Gilbert, in Proc. SPIE 1837: Frequency Stabilized Lasers and Their Applications, Boston, MA, pp. 146-153 (1992).
 [3] M. Breton, P. Tremblay, C. Julien, N. Cyr, M. Têtu, and C. Latrasse, IEEE Trans. Instru. Meas., Vol. 44, No. 2, pp. 162-165 (1995).
 [4] H. S. Moon, W. K. Lee, L. Lee, and J. B. Kim, Appl. Phys. Lett. Vol. 85, No. 18, pp. 3965-3967 (2004).