

루비듐원자에서 결맞음 밀도 포획 신호의 이중 구조

Double structures of coherent population trapping resonance in Rb vapor cell.

이림^{1,2}, 문한섭¹, 김중복²

¹한국표준과학연구원 광기술표준부, ²한국고원대학교 물리교육과
hsmoon@kriss.re.kr

결맞음 밀도 포획(CPT; coherent population trapping)⁽¹⁾은 원자시계, 원자포획, 전자기파의 군속도 제어 및 결맞음 밀도 전이(transfer) 등에 활용되고 있으며, 그 관심 영역이 점점 확대되고 있는 현상이다. CPT 현상은 결맞는 두 개의 바닥준위가 공유하는 하나의 여기 준위로 이루어진 3준위 Λ 형 원자계에서의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 구조는 축퇴된 2준위 원자계의 자기부준위(Zeeman sublevel) 사이에서도 나타나기 때문에 축퇴된 2준위 원자계의 결맞음 밀도 포획 현상을 관측할 수 있다. 축퇴된 2준위 원자계의 경우는 Λ 형 구조를 만드는데 필요한 레이저 주파수가 같기 때문에 한 대의 레이저에서 다른 편광성분을 만들어서 사용한다. 이 경우에 실험장치가 간단해질 뿐만 아니라 레이저의 상대적인 위상잡음을 고려할 필요가 없기 때문에 CPT신호를 얻는데 효과적이다. 이러한 이유로 축퇴된 2준위 원자계를 이용하여 다양한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 자기부준위들을 이용하고 있기 때문에 외부 자기장에 대하여 신호의 모양과 크기가 민감하게 반응하기 때문에 정밀한 전자기장 측정장비로써의 활용 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

CPT 현상을 이용한 다양한 응용분야 중에서 초민감 자기장 측정을 위한 연구는 생체자기를 측정할 수 있는 대안이 되고 있다. 이처럼 CPT 현상이 미세한 자기장 변화를 감지할 수 있는 것은 CPT 스펙트럼의 선폭이 매우 좁다는 특징 때문이다. CPT 스펙트럼의 선폭은 바닥준위 사이의 감쇠율, 증기 셀과의 충돌, 원자 간의 충돌, 원자와 레이저의 상호작용 시간, 레이저의 출력 및 위상잡음 등에 의해서 결정된다. 특히, 증기 셀을 이용한 CPT 연구에서는 증기 셀과의 충돌에 의한 효과를 최소화하기 위해서 다양한 버퍼 가스를 이용한 연구들이 진행되었다. 그러나 최근에 버퍼 가스를 사용하지 않은 증기 셀에서 충분히 높은 출력의 레이저를 이용하는 경우에 기존에 알고 있던 CPT스펙트럼과 함께 선폭이 아주 좁은 스펙트럼이 나타나는 것을 확인되었다⁽²⁾. 이러한 좁은 선폭의 이중구조 스펙트럼은 미세한 자기장 변화를 측정할 수 있는 감도를 높일 수 있다는 점에서 중요한 의미가 있다.

우리는 루비듐 원자 증기셀을 이용하여 축퇴된 2준위 원자계에서의 비선형 광자기 효과 관측을 위한 실험을 진행하여왔다⁽³⁾. 본 연구에서는 비선형 광자기 효과를 연구하는 과정에서 얻어진 결맞음 밀도 포획 신호의 이중 구조에 대해서 조사하였다. 실험은 ⁸⁷Rb 원자의 D1 line $F=2 \rightarrow F'=1$ 전이선(그림 1.)에서 수행되었으며, 실험장치는 그림 2. 와 같다. 자기차폐된 뮤메탈 챔버내에 원자셀을 위치하고 주변에 솔레노이드 코일을 감아 자기장을 조절할 수 있게 하였으며, 편광유지광섬유를 통과시켜 빔의 공간분포를 향상시키고 음향광학변조기(AOM)을 이용하여 셀을 통과하는 빔의 세기를 안정화하였다. 포화흡

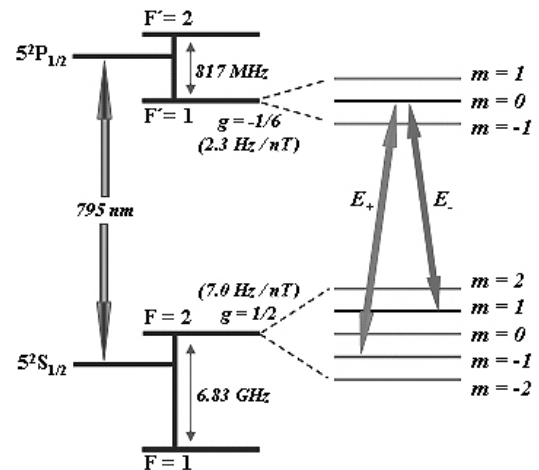


그림 1. ⁸⁷Rb 원자의 에너지 구조

수분광장치를 이용하여 레이저의 주파수를 안정화 하였으며, 챔버내부에 셀과 나란한 방향으로 집광렌즈와 광검출기(PD)를 설치하여 형광(fluorescence)을 측정하였다.

이러한 조건에서 관측되는 일반적인 신호의 형태는 그림 3. 과 같다. 레이저의 세기에 따라 신호의 크기가 증가함을 알 수 있으며, 레이저의 세기가 더욱 증가하게 되면 공진(CPT resonance)조건에서 더욱 좁은 선폭의 이중구조를 갖는 신호를 관측할 수 있다. 증기셀에서의 CPT선폭은 원자결맞음완화(relaxation)와 원자와 레이저의 상호작용 시간(interaction time)과 관계된다. 원자와 레이저의 상호작용 시간에 의한 선폭확대는 수 백 kHz (빔의 직경 2mm 일때 ^{87}Rb 의 경우 300K에서 135 kHz)정도이며, 그림 3. 에서의 넓은 선폭의 신호와 관련된다. 빔의 세기가 커지면 공진선 근처에서 또 하나의 신호가 구별되어 관측되는데, 이 신호의 선폭은 수 kHz 정도로 매우 좁고, 특히 레이저의 출력이 증가하여 신호의 크기가 커지더라도 선폭은 확대되지 않는 특성을 보인다. 이러한 신호의 특성은 원자결맞음 및 광자기 효과 연구에 유용하며, 자기장 등의 정밀 측정에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

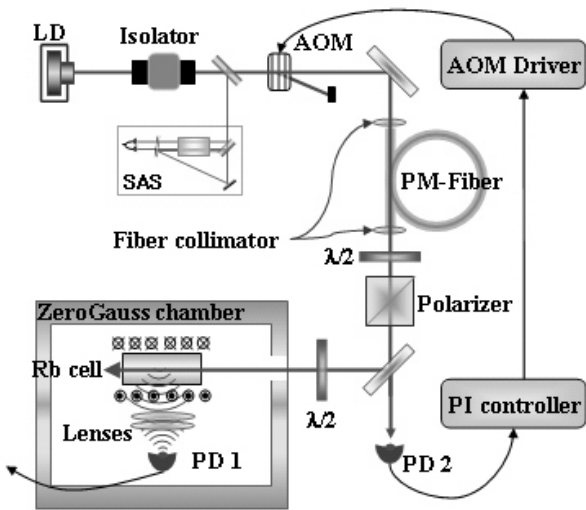


그림 2. 실험장치의 개요

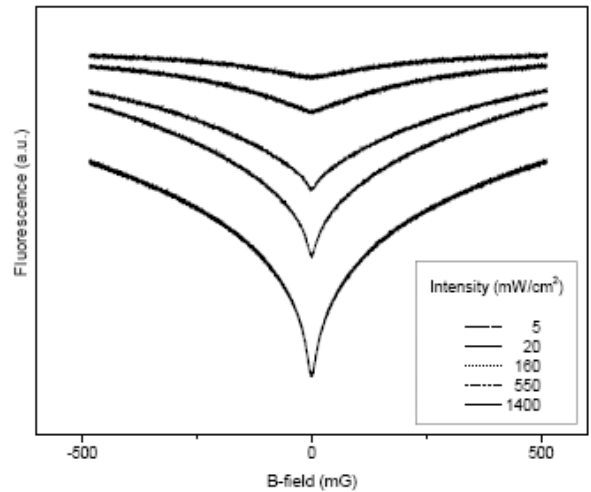


그림 3. ^{87}Rb 2→1' 전이선에서 빔의 세기에 따른 결맞음밀도포획신호의 변화

참고문헌

1. H. R Gray, R. M. Whitley, and C. R. Stroud, Jr., "Coherent trapping of atomic populations", Opt. Lett. 3, 218-220 (1978).
2. Emilia Alipieva, Sanka Gateva, Elena Taskova, and Stefka Gartaleva, "Narrow structure in the coherent population trapping resonance in rubidium", Opt. Lett. 28, 1817-1819 (2003).
3. 문한섭, 이원규, 안문희, 김중복, "Rb D₁ 전이선에서 원자결맞음에 의한 비선형 광자기 효과", 한국 광학회지 16, 7-12 (2005).