

## 단원자 포획을 위한 다이오드 레이저의 주파수 잠금

### Frequency Locking of Diode Laser for Single Atom Trap

최용석, 김중복, 안경원

한국과학기술원 물리학과 거시양자광레이저연구단

yschoi@cais.kaist.ac.kr

최근의 실험 원자물리학은 첨단기술의 뒷받침으로 현재까지는 이론적으로만 가능했던 미시적인 원자 세계의 물리적인 현상들을 실험으로 확인하며 새로운 현상들을 밝혀내는 중요한 연구분야로 주목을 받고 있다. 캐비티 양자전기역학 (Cavity QED)<sup>(1)</sup>은 원자와 공진기의 상호작용을 연구하는 분야로, 본 연구의 최종 목표들 중 하나인 단원자 포획은 캐비티 양자전기역학에서 다루어지는 많은 이론적인 모델들에 대한 실험을 가능하게 하는 획기적인 도구가 될 것이다. 단원자 포획을 위해 우선 충분한 수의 원자들을 자기광학적으로 포획 (MOT) 하고, 캐비티 안의 국소화된 영역에 높은 자기장 기울기를 걸어준 상태에서 원자들을 그 안으로 쏘아올려 단원자를 포획할 예정이다. 원자를 쏘아올릴 때에는 MOT의 아래쪽에서 입사되는 레이저의 주파수는 공명선에 맞추어놓고, 위쪽에서 입사되는 레이저는 AOM을 이용하여 공명선에서 벗어나도록 하여 결과적으로 수직 상방향으로 힘을 받도록 할 예정이다. 이때 원자는 detuning 폭과 시간을 조절하여 자기장의 세기가 0인 지점으로 쏘아올려지며, 높은 자기장 기울기에 의해 공간적으로 국소화된 지점에서 포획된다.

본 실험에서는 원자포획을 위한 첫단계로 포화흡수분광<sup>(2)</sup>을 이용하여 루비듐 원자의 초미세 전이선을 측정하였다. 포화흡수분광은 도플러 효과가 제거된 신호를 얻을 수 있는 고분해능 분광기법으로 원자의 공진선에 대한 레이저의 주파수를 잠금 또는 안정화를 하는데 널리 응용되고 있다. 원자의 냉각 또는 포획에는 포획 레이저 (trapping laser) 와 재펌핑 레이저 (repumping Laser) 가 필요한데 재펌핑 레이저는 원자의 에너지 상태가 여러 준위로 분산되어 더 이상 포획 레이저의 주파수에 공진을 일으키지 않을 때 다시 공진 가능한 에너지 상태로 원자들을 이동시키기 위해 사용된다. 재펌핑 레이저의 경우 출력 주파수는 원자의 공진선에 정확히 일치하지 않아도 무방하므로 본 실험에서는 루비듐-85의  $F=2 \leftrightarrow F'=3$  전이선의 측면에 주파수잠금 (side lock) 을 실시하였다.

그림 2는 단원자 포획을 위한 재펌핑 레이저로 사용될 반도체 레이저의 주파수잠금 장치도로 일반적인 포화흡수분광 장치도를 따른다. 사용된 레이저는 Vortex사의 10mW급 Littman 방식의 파장가변 다이오드 레이저로 1MHz 이하의 선폭을 갖는다. 레이저는 전류변조, 또는 PZT전압 변화에 의한 주파수 변조 방식으로 출력 주파수를 변화시킬 수 있다. 전류변조 방식의 경우 주파수 변화는 대략 10MHz/mA 이고, 주파수변조 방식에서는 대략 30GHz/V인데 본 실험에서는 주파수의 미세 조정을 위해 전류변조 방법을 사용하였다. 레이저에서 나오는 광속은 광속분할기를 통해 주파수잠금 장치로 입사된다. 광속분할기에서 반사된 빛은 조사광으로 사용되며, 투과한 빛은 펌핑광으로 시계방향으로 케환을 하여 두 개의 조사광 중 한 쪽과 겹치면서 반대방향으로 진행하도록 정렬시켰다. 펌핑광의 세기는  $30 \mu W$ 이고 조사광의 세기는  $10 \mu W$ 이다. 신호의 측정은 두 개의 광검출기 (photodiode ST1KL) 를 이용하였다. 펌핑광과 겹침이 없이 입사되는 빛은 도플러 효과에 의한 선형흡수신호로 측정이 되며, 펌핑광과 겹치는 조사

광은 선형흡수신호 안에 Lamb dip이 있는 신호로 측정이 된다. 간단한 회로를 이용하여 두 신호의 차, 즉 도플러효과가 제거된 초미세 신호를 측정하였으며, 측면 주파수잠금 방법을 사용하여 재펌핑 레이저의 출력 주파수를 잠금시켰다.

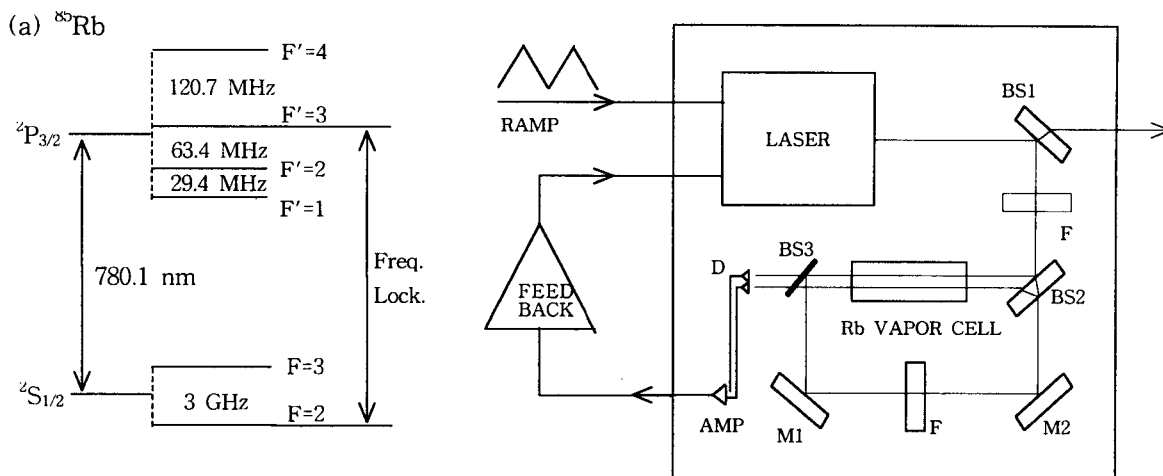


그림 2. 주파수 잠금(Frequency locking) 장치도

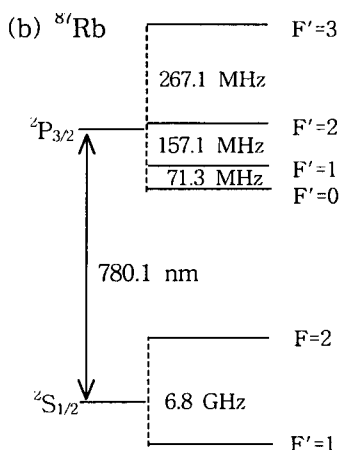


그림 1. 루비듐 원자의 초미세 구조

(a) <sup>85</sup>Rb (b) <sup>87</sup>Rb의 D<sub>2</sub> 전이선

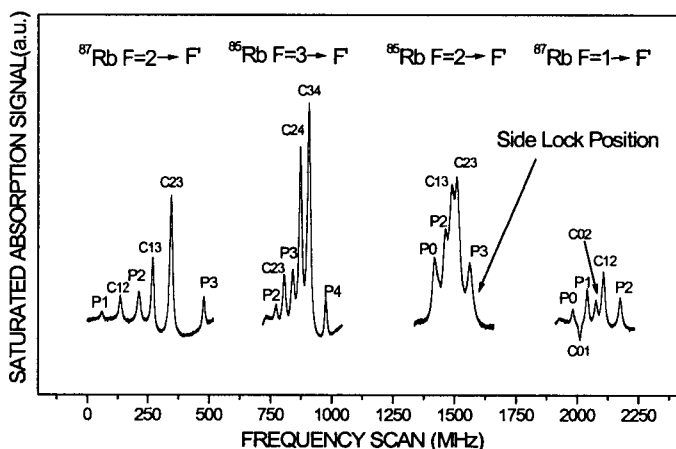


그림 3. 루비듐 원자의 D<sub>2</sub> 전이선에 대한 포화분광 신호

그림 3은 광펌핑 포화분광을 이용하여 얻은 루비듐 D<sub>2</sub> 전이선의 초미세 분광신호이다. 그림에서 P<sub>i</sub>는 F'=i인 주공진선을 의미하고, C<sub>ij</sub>는 F'=i와 F'=j 사이의 교차공진선 (cross over signal) 을 의미한다. 공진신호의 자연선폭은 6MHz인데, 측정된 공진신호들의 선폭 (FWHM) 은 이것의 두 배인 12 MHz 정도로 그 원인은 주로 광의 세기에 의한 선폭확대 (power broadening) 로 보인다. 그러나, 이러한 선폭확대는 주파수 잠금에 커다란 영향을 주지 않았으며 일과 시간중 수시간 동안 레이저의 주파수를 잠금시킬 수 있었다. 본 연구는 과학기술부 창의적연구진흥사업과 정보통신부 대학기초연구사업의 지원으로 얻어진 결과임.

참고문헌

1. *Cavity Quantum Electrodynamics*, P. Berman ed. (Academic Press, Inc., NY, 1993)
2. C.E.Tanner and C.Wieman, *Phys. Rev. A*38, 162 (1988).