

제만 감속기를 이용한 Yb 열 원자빔 종속도 조절

Longitudinal velocity control of a Yb thermal-atomic beam by using a compact Zeeman slower

송민수, 이진용, 윤태현
 고려대학교 물리학과
 pailover@korea.ac.kr

최근에 제안된 ^{174}Yb 원자의 $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_0$ 상호결합 전이선을 기준 진동자로 사용하는 광격자 시계를 구현하기 위해서는 자기광 포획 기술을 이용하여 원자의 온도를 수십 μK 까지 냉각 및 포획하는 실험이 선행되어야 한다. 그리고 Yb 원자를 효율적으로 자기광 포획하기 위해서는 200 m/s 정도의 속도를 갖는 Yb 열 원자빔의 속도를 자기광 포획 장치에 포획될 정도의 최종속도 30 m/s를 갖도록 감속하여야 한다. 본 논문에서는 ^{174}Yb 원자의 $^1\text{S}_0 - ^1\text{P}_1$ 399 nm 전기쌍극자 전이선을 이용한 제만 감속기의 설계 및 종속도 조절 특성에 대한 실험 결과를 보고한다.

제만 감속기는 공간적으로 다른 기울기를 가지는 외부 자기장으로 원자의 에너지 준위 분리를 제어하여, 원자와 레이저의 상호 작용에 의한 Doppler 냉각을 연속적으로 유지시켜서 원자의 속도를 조절하는 장치이다. 본 논문에서 설계·제작한 소형 제만 감속기의 길이는 20 cm이고, 이 조건에서 σ^- 편광이 된 감속용 레이저를 사용했을 때 필요한 자기장의 공간적 기울기를 계산하였다.⁽¹⁾ 계산된 자기장 공간 분포에 맞는 자기장을 실험적으로 생성하기 위해 공간적으로 감은 수가 달라지는 솔레노이드 1차 코일

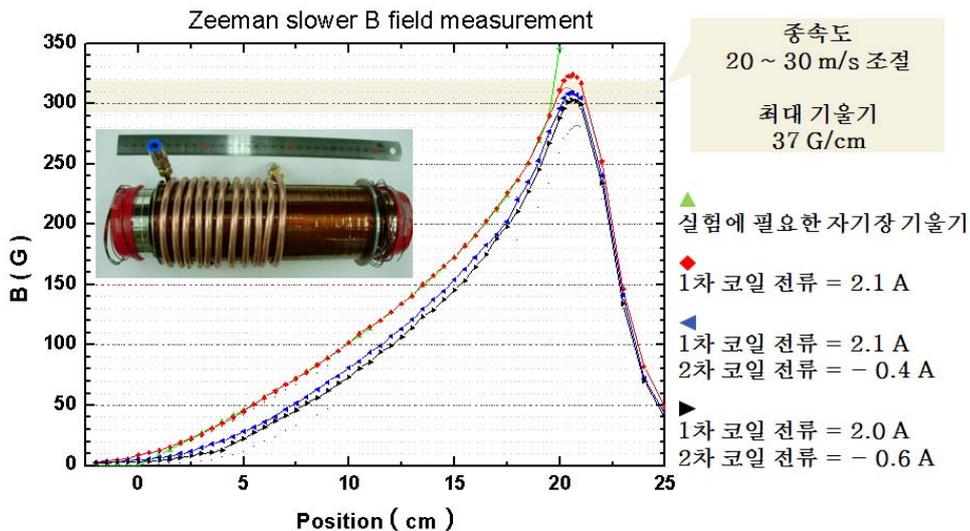


그림 1. 제만 냉각에 필요한 자기장 기울기와 제작된 소형 제만 감속기의 공간적인 자기장 분포 측정.

을 설계·제작하였다. 제만 감속기의 1차 코일에 2.1 A의 전류를 가해 감속기의 출구에서 320 G의 자기장을 생성하였고, 최대 기울기는 37 G/cm이었다. 균일한 자기장을 발생시킬 수 있는 2차 코일을 감속기 외부에 설치하여 반대 방향의 자기장을 생성시켜서 그림 1과 같이 자기장의 최대값을 조절할 수 있었다. 이 특성에 따르면, 제작된 제만 감속기를 이용하여 초속도가 200 m/s 이하인 원자들의 최종속도를 20 ~ 30 m/s까지 조절할 수 있다. 또한 약 30 W를 소모하는 두 코일들을 수랭식 냉각 방법을 통하여 열에 의한 물리적 변형과 코일의 저항 변화에 의한 전류 변화를 방지하였다.

효율적인 Yb 원자빔의 종속도 감속과 종속도 분포측정을 위한 광원들은 외부 공진기형 다이오드 레이저를 사용하였다. 감속용 레이저의 최대 출력은 약 10 mW로, 실험에 필요한 0.25Is ($I_s = 58 \text{ mW/cm}^2$: 포화 세기)의 세기를 얻을 수 있고, 초속도가 200 m/s인 Yb 원자의 Doppler 효과를 상쇄하기 위해 -500 MHz의 주파수 디튜닝을 주었다.

본 학회 발표에서는 그림 2와 같이, 380 °C로 가열된 오븐에서 발생한 확산형 Yb 열 원자빔을 제만 감속한 실험 결과와 종속도 분포 측정 및 조절에 대한 결과를 보고할 것이다.

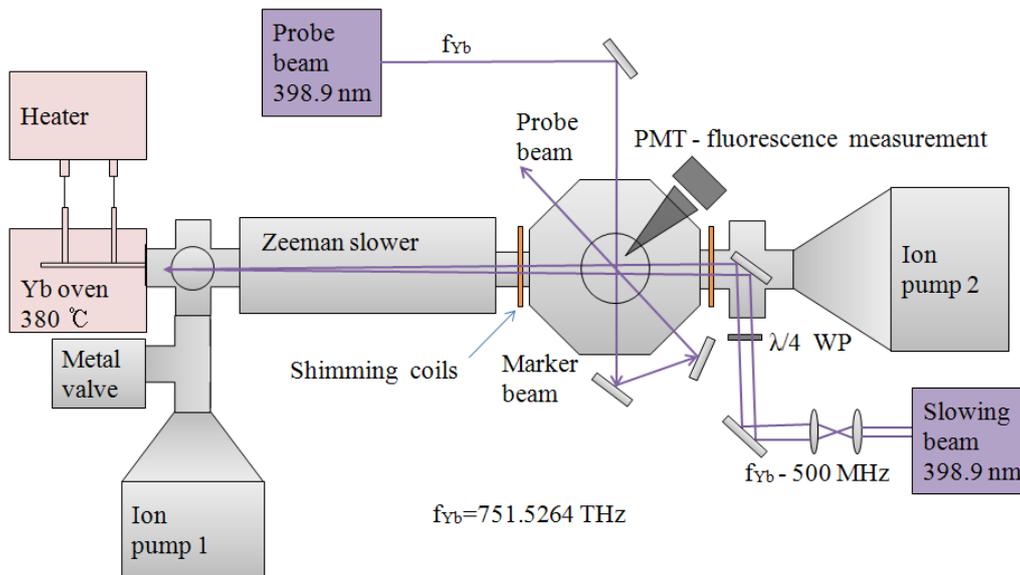


그림 2. 제만 냉각된 Yb 열 원자빔의 종속도 조절 및 측정을 위한 실험 장치.^(2,3)

참고문헌

1. T. H. Loftus, "Laser cooling and trapping of atomic ytterbium", (University of Oregon, Ph.D. Dissertation, 1994).
2. M. Watanabe, R. Ohmukai, U. Tanaka, K. Hayasaka, H. Imajo, and S. Urabe, "Velocity control of an Yb beam by a frequency-doubled mode-locked laser", J. Opt. Soc. Am. B **13**, 2377 (1996).
3. William D. Phillips, Harold Metcalf, "Laser deceleration of an atomic beam", Phys. Rev. Lett. **48**, 596 (1982).