

# 루비듐 셀을 이용한 마이크로파 주파수 표준기 연구

## A Study of the Microwave Frequency Standard with Rubidium Cell

박성중, 조 혁, 박종대\*, 권택용\*\*, 이호성\*\*  
 충남대학교 물리학과, \*배재대학교 물리학과, \*\*한국표준과학연구원  
 time00@chollian.net

소형 루비듐 원자시계를 만들기 위해 원자에서의 CPT(coherent population trapping) 현상, 유도 라만 산란(SRS: Stimulated Raman Scattering), 루비듐 메이저 등 다양한 방법들이 소개되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 본 연구에서는 루비듐 원자 주파수 표준기를 위해 루비듐 셀을 이용한 마이크로파 주파수 표준기(즉, 원자시계)에 관한 연구를 수행하였다. 루비듐 셀을 이용한 원자시계는 가격이 저렴하고 부피가 작아 휴대용으로 적합하다. 따라서 정보통신 분야에서 동기 신호 발생기에 사용되는 등 다양한 응용분야를 갖고 있다.

지금까지 루비듐 원자시계에서는 광원으로 RF 램프를 사용하였다. 그런데 반도체 레이저를 사용함으로써 원자시계의 성능 향상에 발전을 가져 오게 되었다<sup>(4)</sup>. 반도체 레이저의 사용으로 단기 안정도가 높고 성능이 향상된 원자시계를 만들게 되었으나 레이저광에 의해 유도된 light shift는 원자시계의 장기 안정도를 높이는데 어려움을 야기시킨다<sup>(5)</sup>. 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 방법을 사용하였다.

주파수 차이가 원자의 두 바닥상태의 주파수 차이에 해당되는 두 레이저 광이 원자와 상호작용하여  $\Lambda$ 구조를 형성할 때 2광자 전이에 의해 원자는 마이크로파 전이를 하게 된다(그림 2). 이 때 CPT 현상에 의해 좁은 선폭의 공진 신호를 얻을 수 있다. 이 방법을 사용하면 light shift를 감소시킬 수 있고, 마이크로파 공진기를 사용하지 않아도 되며, 레이저광만을 사용하여 원자시계를 작동시킬 수 있다<sup>(1)</sup>.

실험 장치도는 그림 1과 같다. EOM을 통과한 레이저광은 편광판과  $\lambda/4$ 판을 지난 후 루비듐 셀을 통과하고, 레이저광의 세기를 광검출기로 관찰하였다. 루비듐 셀에는 충돌에 의한 원자의 선폭확대를 줄이기 위해서 약 10 torr의 질소 버퍼 가스를 포함시켰고 약 60 °C로 가열하였다. EOM을 통과한 레이저광의 주파수는 주모드로부터  $\pm 3.4$  GHz 떨어진 두 사이드 모드를 가지는데, 이 두 주파수( $\omega_1, \omega_2$ )가 루비듐-87 원자의  $F=2 \rightarrow F'=2, F=1 \rightarrow F'=2$  에 공진되도록 하였다(그림 2). EOM에 전압을 가하여 두 사이드 모드의 주파수 차가 두 바닥상태 초미세 준위의 주파수 차이인 6.835 GHz가 되면 CPT 현상에 의해 투과가 증가하는 좁은 선폭의 신호를 관찰할 수 있다. 이 때 레이저광의 진행방향으로 자장을 가해주면 제만효과에 의해 분리된 세 개의 공진신호를 관찰할 수 있다(그림 3). 그림 3에서 가운데 신호가  $F=1, m_F=0 \leftrightarrow F=2, m_F=0$  전이에 해당하는 시계 전이선이다. 그리고 (-1,-1)전이선과 (1,1)전이선은 자장

어 비례하여 주파수 이동이 발생하기 때문에 자장 측정기로 응용하는데 사용할 수 있다. 광검출기의 출력을 피드백하여 (0,0)전이선의 미분신호에 마이크로파 주파수를 locking시키면 마이크로파 주파수 표준기가 완성된다.

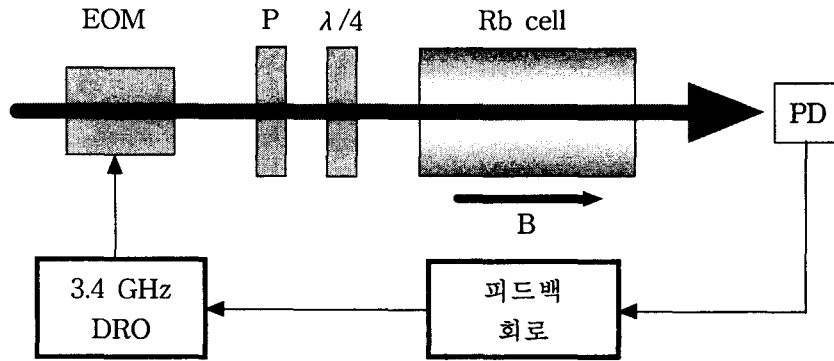


그림 1. 소형 루비듐 원자시계를 위한 실험 장치도.

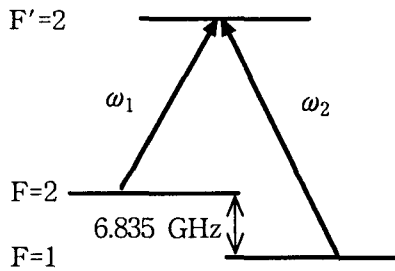


그림 2. EOM에 의해 형성된  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  와 원자가 상호작용하여 형성된  $\Lambda$  구조.

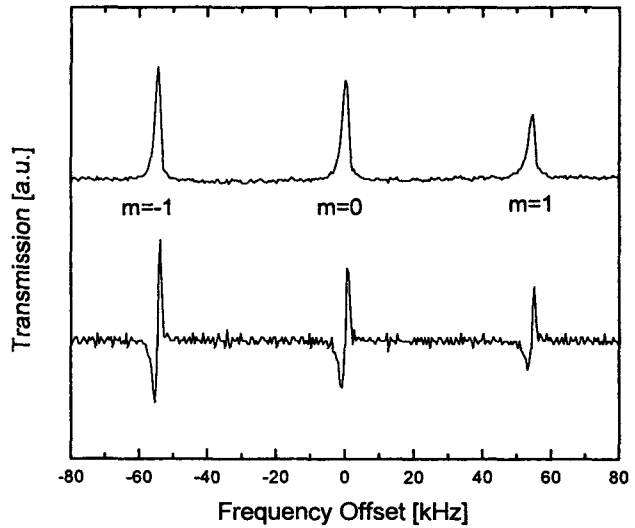


그림 3. EOM에 가해지는 3.4 GHz의 주파수 튜닝에 따른 루비듐 원자의 스펙트럼 (상 : 흡수 스펙트럼, 하 : 미분 신호).

참고문헌

1. M. Hashimoto and M. Ohtsu, IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-23, 446 (1987).
2. B. S. Mathur, H. Tang, and W. Happer, Phys. Rev., vol. 171, 11 (1968).
3. N. Cyr, M. Tetu, and M. Breton, IEEE. Trans. Instrum. Meas., vol. 42, 640 (1993).
4. R. Wynands and A. Nagel, Appl. Phys. B-Lasers and Optics, vol 68, 1 (1999).
5. A. Godone, F. Levi, and J. Vanier, Phys. Rev. A 59, R12 (1999).