

루비듐 원자에서의 비선형 광자기 효과

Nonlinear Magneto-Optic Effect in Rb Vapor Cell

이림, 문한섭*, 김중복

한국교원대학교 물리교육과, *한국표준과학연구원 광기술표준부

anticlimax@kriss.re.kr

자기장은 어느 곳이나 존재하는 기본적인 물리량의 하나이며, 1832년 가우스의 자기장 측정실험 이후 다양한 방법과 목적에 따른 효과적인 자기장측정 도구의 개발이 지속적으로 진행되고 있다. 과거 30여 년간은 SQUIDS(Superconducting quantum interference devices)에 필적할 만한 정밀한 자장측정 방법이 개발되지 못했기 때문에 현재의 고감도 측정장비들은 모두 이 이론을 기반으로 하고 있다. 그러나 $1 \text{ fT} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ 의 이론적 측정한계와 초전도체현상을 위한 극저온으로 인한 제한이 있으며, 수 Cm 단위 이하의 해상도를 갖는 다채널 자장측정장비의 개발에는 부적합하다.

SQUIDS를 대체할 자장측정 방법으로 최근에 큰 성과를 거두고 있는 것은 SERF(spin-exchange relaxation-free atomic magnetometer)로서, $0.54 \text{ fT} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ 의 감도와 2 mm 의 해상도 다채널 자장측정의 구현이 보고되었다.⁽¹⁾ 그러나 인체에 영향을 주지 않고 안전하게 생체자기를 측정하기 위해서는, 저출력 레이저의 사용과 비교적 간단하고 작은 크기의 장치 구성이 가능하며 $0.1 \text{ fT} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ 의 이론적 측정한계를 가진 NMOE(Nonlinear magneto-optic effect)현상을 이용한 CPT(Coherent population trap) Magnetometer가 가장 적합하다.

NMOE CPT Magnetometer는 진행방향에 수평 또는 수직한 자기장이 존재할 때 매질을 통과하는 빛의 편광면이 회전하는 페러데이(Faraday) 효과 또는 보이그(Voigt) 효과를 이용하여 자기장의 크기를 정밀 측정하는데, 매질의 광자기 효과가 진행광과의 상호작용에 의해서 변화되기 때문에 비선형 광자기 효과(NMOE)라고 한다.

자기장에 의해 자기부준위로 분리(Zeeman split)된 바닥준위들에서 여기 되는 경로의 차이에 의해 우원편광(σ^+)과 좌원편광(σ^-)에 대한 매질의 굴절률이 각각 다른 변화를 보이게 되고, 이를 각각 측정함으로써 자기장에 의한 효과를 검출할 수 있다.(Fig. 1)⁽²⁾

실험에서는 자장차폐를 위한 챔버 속에 코일을 감은 루비듐 버퍼셀(Buffer Cell)을 장치하고 코일에 전류를 흘려줌으로써 광의 진행방향에 나란한 자기장을 형성하여 페러데이 효과를 유도하였으며, 자기장이 없을 때 셀에 입사하는 광의 편광면이 광분할기(PBS)의 수직방향에 대해 45°의 각을 이루게 하여 광분할기 통과 후 각각의 광검출기에 도달하는 광의 세기가 같도록 하였다. 여기에 자기장이 발생하면 각각의 광검출기의 도달하는 광의 세기가 달라져 비선형 광자기효과를 측정할 수 있게 하였다. 버퍼셀은 실온에서 충분한 원자밀도를 갖지 않으므로 챔버 내부를 가열하였으며, 필요에 따라 잔여자기장(residual magnetic field)를 상쇄하기 위한 작은 코일을 추가하였다.

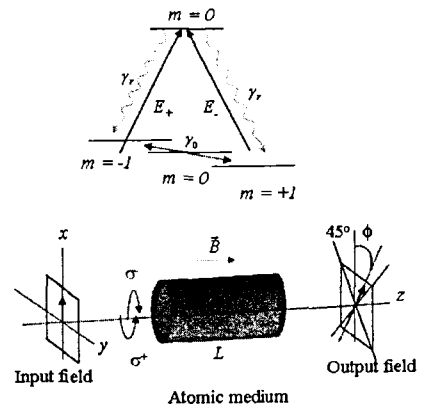


Fig.1. 비선형 광자기 효과

50 Torr Ne 버퍼셀을 가열하여 ~1 mG 의 선폭을 갖는 스펙트럼을 얻었으며 이때 스펙트럼의 유효 선폭은 ~460 Hz(Fig. 2)로 측정되었다. 또한 레이저의 출력(Fig. 3)과 빔의 직경, 셀의 온도(Fig. 4)에 따른 신호의 증가와 자기장에 대한 민감도의 변화를 측정하여 레이저 출력이 증가함에 따라 비선형 광자기 신호의 증가함을 확인하였다. 또한 다채널 측정장비 구현을 위하여 서로 근접한 빔이 서로에게 미치는 영향을 빔 사이의 거리에 따라 측정하였다.

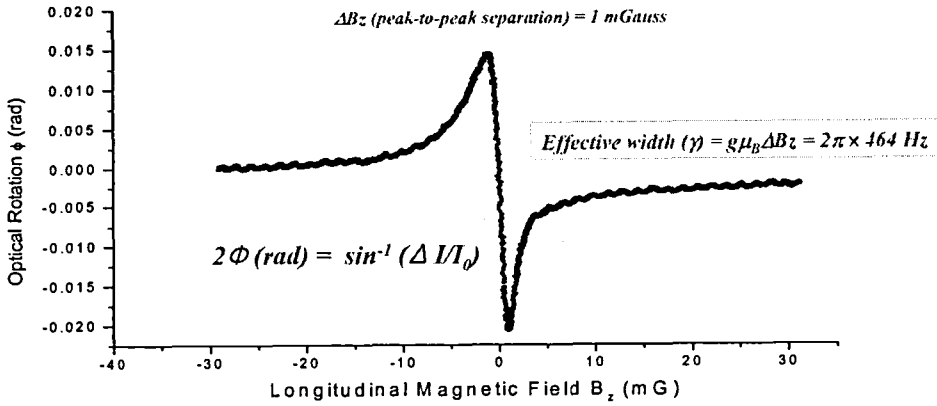


Fig. 2. Rb Buffer gas Cell(Ne 50 Torr)에서의 비선형 광자기 효과

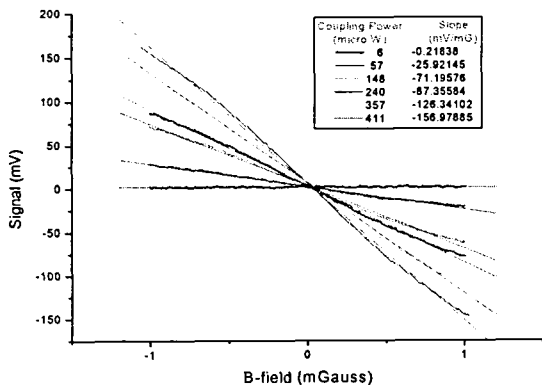


Fig. 3. 87Rb F=2→F'=1 전이에서 레이저 출력에 따른 광자기 신호의 변화

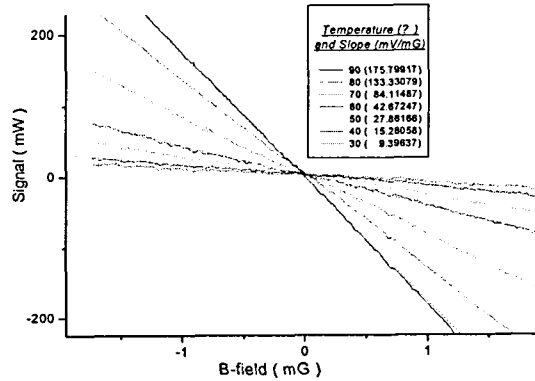


Fig. 4. 87Rb F=2→F'=1 전이에서 셀의 온도에 따른 광자기 신호의 변화

참고문헌

- [1] I. K. Kominis, T. W. Kornack, J. C. Allred, M. V. Romalls, "A subfemtotesla multichannel atomic magnetometer", Nature 422. 596-599 (2003).
- [2] D. Budker, W. Gawlik, D. F. Kimball et al, "Resonant nonlinear magneto-optical effects in atoms", Rev. Mod. Phys. 74, 1153-1201 (2002).

