

원자결맞음을 이용한 원자자계

Atomic magnetometer using atomic coherence

문한섭, 이림*, 이현준, 유예진, 배인호, 김중복*
 부산대학교 물리학과, *한국교원대학교 물리교육학과
 hsmoon@pusan.ac.kr

고감도 자기장 측정 기술은 순수 학문분야에서부터 산업체에 이르기까지 폭넓은 관심을 가지고 연구되고 있는 분야이다. 자기장 측정 기술은 측정 범위에 따라서 응용의 방향이 달라진다. 그 중에서도 고감도 자기장 측정기술의 극한은 생체자기장을 측정하는 기술이다. 생체 자기는 $10^{-12} \sim 10^{-15}$ T의 범위에 있는 매우 작은 자기장의 세기를 가지고 있다. 이러한 생체 자기 측정 기술은 심전도와 같이 생체 전기 신호를 측정한 것보다 매우 힘든 일이다. 그러나 생체 자기장의 측정은 심장과 뇌에서 일어서는 예상하지 못하는 질병을 조기에 진단할 수 있고, 현대 의학으로 정확한 진단이 어려운 간질 및 치매 등의 진단 가능성이 제시됨에 따라 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다.

고감도 자기장 측정 기술은 최근에 원자와 레이저의 상호작용을 이용한 미소자기장 측정에 관한 연구는 이론과 실험에서 많은 연구가 진행되고 있다. Scully 그룹은 결맞음 원자매질에서의 비선형 광자기 효과에 의한 미소 자기장 측정 한계를 이론적으로 계산했는데⁽¹⁾, 이 연구에 의하면 Rb원자를 이용했을 때, 자기장 측정 민감도의 한계는 $0.6 fT/\sqrt{Hz}$ 로 보고하고 있다. 2003년에 Romalis 그룹은 광편광에 의한 Lamor spin precession을 검출하는 방법으로 $0.54 fT/\sqrt{Hz}$ 의 감도로 자기장 측정이 가능함을 보였다⁽²⁾. 또한 2004년에 NIST의 Hollberg 그룹에서는 결맞음 밀도 포획(CPT)현상을 이용하여 높이 3.9 mm, 부피 12 mm^3 를 가진 자기장측정 센서를 개발하였다. 이 센서의 감도는 약 $50 pT/\sqrt{Hz}$ 로 측정되었다. 2006년에 Budker 그룹에서는 anti-relaxation coating 된 직경 3 mm의 구형셀을 제작하여 자기장측정 센서를 개발하였다. 이 센서의 감도는 $4 pT/\sqrt{Hz}$ 로 측정되었다고 보고하고 있다⁽³⁾. 한편, 원자 자계는 2008년 MIT에서 선정한 10대 연구과제로 선정될 만큼 응용분야를 포함하는 중요한 연구주제로 부상하고 있다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 ^{87}Rb 원자 D_1 전이선에서 원자결맞음을 이용한 원자 자계를 구성하고 시험전류에서 흐르는 자기장을 측정하였다. 실험에 사용한 Rb원자 증기셀은 길이는 50 mm이고 직경이 25.4 mm인 원통형이고, 충돌 효과를 줄이기 위해서 Ne 버퍼 가스 30 ~ 50 Torr가 포함되어 있다. 셀 내부의 원자 밀도를 조작하기 위해서 셀의 온도를 제어할 수 있는 장치가 포함되어 있으며, 온도 조절은 약 76 °C의 물을 이용하여 증기 셀의

온도를 조절하도록 하였다. 또한 지구자기장을 포함한 다양한 외부 자기장 효과를 차단하기 위해서 3겹의 μ -metal 챔버를 설치하고 내부에 증기셀을 포함한 DC 자기장을 인가하는 솔레노이드 코일, 그리고 테스트 코일 등을 설치하였다. 그림 2는 원자 자계에서 얻은 전형적인 비선형 광자기 (nonlinear magneto-optical effect; NMOE) 신호를 보여주고 있다. NMOE 신호를 이용하여 측정된 자기장에 대한 전기신호의 기울기는 약 0.4 mV/nT로 측정되었고, 테스트 전류를 약 25 kHz로 변조했을 때 자기장의 변화를 측정할 수 있었다.

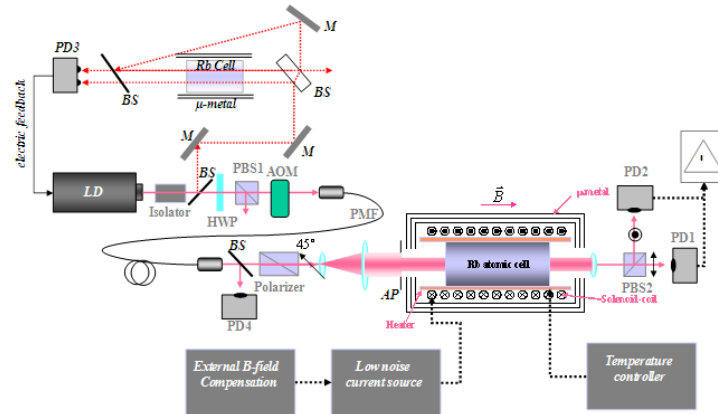


그림 1 원자결맞음에 의한 비선형 광자기 효과를 관측하고 이를 이용하여 미소 자기장을 측정하기 위한 실험장치

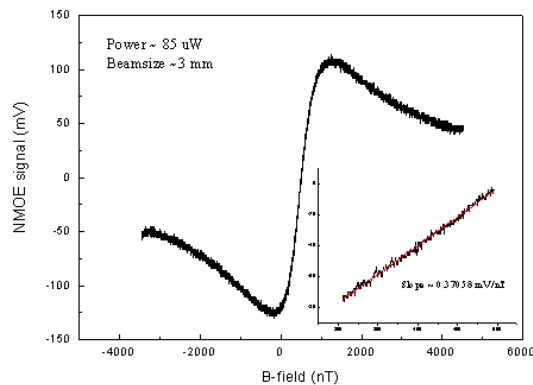


그림 2 전형적인 비선형 광자기 신호

1. I. Novikova, A. B. Matsko, V. A. Sautenkov, V. L. Velichansky, G. R. Welch, and M. O. Scully, "Ac-Stark Shifts in the nonlinear Faraday effect," *Opt. Lett.* 25, 1651-1654 (2000).
2. I. K. Kominis, T. W. Kornack, J. C. Allred, and M. V. Romalis, "A subfemtotesla multichannel atomic magnetometer," *Nature* 422, 596-599 (2003).
3. M. V. Balabas, D. Budker, J. Kitching, P. D. D. Schwindt, J. E. Stalnaker, "Magnetometry with millimeter-scale antirelaxation-coated alkali-metal vapor cells", *J. Opt. Soc. Am. B* 23, 1001-1006 (2006).