

자기광학 효과에 의한 아크릴 봉에서의 Faraday 회전각 측정

The Measurement of Faraday Rotation Angle in Acryl Bar by Magneto-Optic Effect

이재란, 김석원
울산대학교 물리학과
sokkim@ulsan.ac.kr

Faraday 효과는 유전체 매질에 빛의 진행 방향으로 자기장이 인가될 때 나타나는 자기광학 현상이며 Faraday 회전은 선형 편광된 빛이 자기장에 의해 유도된 복굴절 때문에 편광면이 회전하는 것을 가리킨다. 이 회전각 ϕ 는 $\phi = VLB$ 로 주어진 관계에 의해 실험적으로 관측된다. 여기서 B 는 빛의 진행 방향과 평행하게 인가된 자기장 성분이고, L 은 자기장 내에 있는 매질의 길이이고, V 는 매질의 자기광학 계수인 Verdet 상수이다. 우리는 x-축으로 선형 편광되고 z-축으로 진행하는 초기 전기장을 Jones 벡터로 표현하면 다음과 같다.

$$E_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} A_0 \exp(ikz - i\omega t)$$

여기서, A_0 는 전기장의 진폭, k 는 파수, ω 는 각진동수이고 t 는 시간을 나타낸다. 방향 x로부터 회전 각 ϕ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽¹⁾.

$$\phi = \frac{V_{ac}}{2V_{dc}} = VLB$$

여기서 V_{ac} 와 V_{dc} 는 각각 검출되는 신호의 교류와 직류 전압이다. V_{ac} 는 진동하는 자기장의 진동수에서 변조되는 빛의 세기로부터 발생하고, V_{dc} 는 광검출기에 의해 검출되는 평균 빛 세기를 나타낸 것이다. 주의해야 할 것은 V_{ac} 는 lock-in 증폭기에 의해 측정됨에 따라 rms 값을 가진다.

Faraday 회전 측정은 파장이 632.8 nm이고 최대 세기가 5 mW인 He-Ne 레이저를 사용하여 수행되었다. 편광자에 의해 빔의 초기 선형 편광 방향이 결정되고, 선형 편광자를 지난 빔은 코일이 감겨있는 공심 내에 있는 길이 59 mm인 아크릴 봉을 투과했다. 사용된 코일은 0.5 mm 두께를 가진 에나멜 선을 최초 지름 39 mm에서 66 mm까지 한 층에 120번씩 54층을 감은 것이다. 아크릴 봉을 통과한 빔은 편광자에 대해 45°로 편광 되도록 세워둔 검광자를 통과하고, Hamamatsu S1223 photodiode에 도달하게 된다. 검출기에 도달한 변조된 빛은 전기적인 신호로 signal recovery 5113 lock-in 증폭기에서 측정이 되고(V_{ac}), 변조되지 않은 평균 빛 세기는 직류 전압계로 측정을 하였다. Lock-in 증폭기는 코일 내에 형성되는 자기장의 증폭을 조절하기 위해 원하는 진동수와 진폭으로 전기적인 기준 신호를 발생시킨다. 자기장은 주어진 파의 진폭에서 진폭을 변화시키거나 주파수를 변조시킬 수 있다. Lock-in 증폭기는 GPIB 인터페이스에 의해 컴퓨터에서 Labview 프로그램으로 작동이 가능하도록하였다.

Faraday 회전에서 자기장의 크기를 알 기위해 Gaussmeter와 같은 자기장 측정 장치를 사용할 수도 있지만, 본 연구에서는 코일 양단에 인가되는 전압 V_{lock} 측정과 lock-in 증폭기에서 발생하는 주파수 f 를 통해 Faraday 법칙에 의해 다음의 식으로부터 얻을 수 있다.

$$B = \frac{V_{lock}}{(2\pi^2 r^2 N f)}$$

여기서, r 은 코일의 반지름이고, N 은 코일의 감긴 수이다.

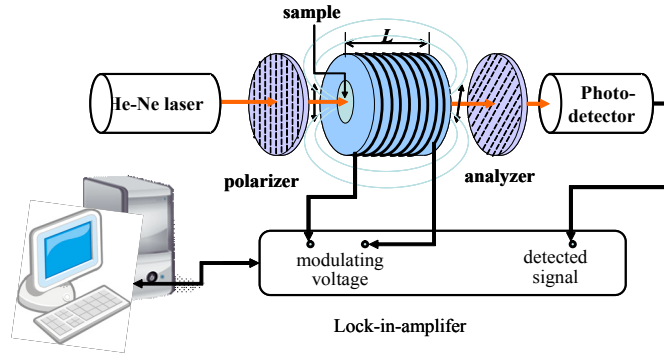


Fig. 1. Experimental setup.

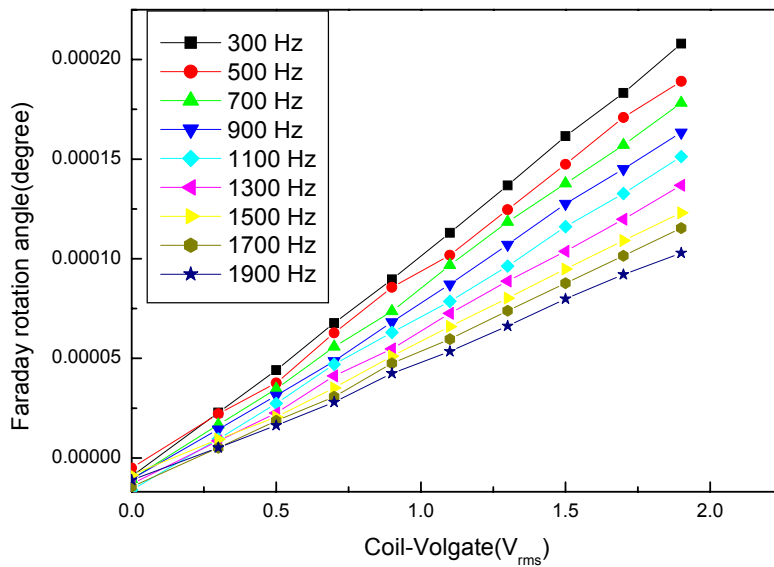


Fig. 2. 진동수가 높은 교류 전류에서는 진동수의 역수에 의존하는 자기장때문에 낮은 진동수일 때보다 적은 Faraday 회전각을 가지게 된다.

코일에 인가되는 전압이 증가함에 따라 V_{ac} 가 증가함을 통해, 자기장의 세기에 따라 회전각이 증가하는 결과를 확인할 수 있었다. 실험을 통해 얻어진 아크릴의 Verdet 상수는 파장 632.8 nm에서 48.2 ± 9.06 °/Tm라는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 알려진 Faraday 회전 실험에 비해 비교적 낮은 전압으로 안전하게 장치를 구성할 수 있다.

참고문헌

1. A. Jain, J. Kumar, F. Zhou, L. Li, and S. Tripathy, "A simple experiment for determining Verdet constants using alternating current magnetic fields", Am. J. Phys. 67(8), 714-717 (1999).