

광자기 Kerr 효과들의 단순화된 관계식을 이용한 유전을 텐서 비대각 성분의 결정.

한국과학기술원 유철열\* · 신성철,

Determination of the Off-Dielectric Tensor Using the Simplified  
Analytic Formulae for the Magneto-Optical Kerr Effects.

KAIST C.-Y.You\*, S.-C.Shin,

### 1. 서론

자기광학 현상의 원인이 되는 유전을 텐서의 비대각 성분을 실험적으로 얻기 위해서는 시료의 굴절율과 자기광학 효과의 실수부에 해당하는 Kerr 회전각, 뿐만 아니라 허수부에 해당하는 Kerr 타원율도 동시에 측정을 해야 한다고 알려져 있다. 광자기 Kerr 분광기는 그 종류에 따라서 타원율의 측정이 가능하거나, 측정하기 아주 곤란하기도 하다[1]. 이에 이 발표에서는 임의의 자화 벡터를 가지는 자성체에 대해서 경사각으로 입사한 빛에 대한 광자기 Kerr 효과들의 단순화된 관계식을 이용해 타원율의 측정이 어려운 경우에 유용한, Kerr 효과만을 이용한 유전을 텐서의 비대각 성분의 결정 방법에 대해서 논하도록 하겠다.

### 2. 유전을 텐서 비대각 성분의 결정.

광자기 Kerr 효과들의 단순화된 관계식들을 이용한 유전을 텐서의 비대각 성분을 구하는 식을 유도하고자 한다. 광학적으로 두꺼운 시료의 경우를 보면 먼저 수직 자성을 가진 매질의 경우  $m_x = 1$ 이고  $m_y = 0$  이므로  $p$  파와  $s$  파에 대한 관계식을 아래와 같이 나타 낼 수 있다.

$$\theta_K^p \equiv \frac{r_{sp}}{r_{pp}} = (S^p(\theta_0, \theta_1) + iR^p(\theta_0, \theta_1))\Theta_n, \quad (1)$$

$$\theta_K^s \equiv \frac{r_{ps}}{r_{ss}} = (S^s(\theta_0, \theta_1) + iR^s(\theta_0, \theta_1))\Theta_n. \quad (2)$$

여기에서  $S^p + iR^p$ 와  $S^s + iR^s$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$S^p(\theta_0, \theta_1) + iR^p(\theta_0, \theta_1) \equiv \frac{\cos \theta_0}{\cos(\theta_0 + \theta_1)}, \quad (3)$$

$$S^s(\theta_0, \theta_1) + iR^s(\theta_0, \theta_1) \equiv \frac{\cos \theta_0}{\cos(\theta_0 - \theta_1)}. \quad (4)$$

그러면 수직 입사시의 복소 Kerr 회전각  $\Theta_n = \theta_K + i\epsilon_K$ 는 참고문헌[1]에서와 마찬가지로

$$\begin{pmatrix} \theta_K \\ \epsilon_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ -B & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{xy}' \\ \epsilon_{xy}'' \end{pmatrix}, \quad (5)$$

처럼 주어진다. 여기에서  $\epsilon_{xy}'$ 와  $\epsilon_{xy}''$ 는 유전을 텐서 비대각 성분의 각각 실수부와 허수부이고  $A$ 와  $B$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$A = \frac{n_0 n_1 (n_0^2 - n_1^2 + 3k_1^2)}{(n_1^2 + k_1^2)((n_0^2 - n_1^2 - k_1^2)^2 + 4n_0^2 k_1^2)}, \quad (6)$$

$$B = \frac{n_0 k_1 (n_0^2 - 3n_1^2 + k_1^2)}{(n_1^2 + k_1^2)((n_0^2 - n_1^2 - k_1^2)^2 + 4n_0^2 k_1^2)}. \quad (7)$$

그러면 위의 식을 이용하면  $p$  파와  $s$  파에 대해 아래와 같은 식들을 각각 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \theta_K^j \\ \epsilon_K^j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AS^j + BR^j & BS^j - AR^j \\ -(BS^j - AR^j) & AS^j + BR^j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{xy}' \\ \epsilon_{xy}'' \end{pmatrix}. \quad (8)$$

여기서  $j = p, s$ 이며,  $p$  파와  $s$  파에 대한 Kerr 회전각  $\theta_K^p$ 와  $\theta_K^s$ 를 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \theta_K^p \\ \theta_K^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AS^p + BR^p & BS^p - AR^p \\ AS^s + BR^s & BS^s - AR^s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{xy}' \\ \epsilon_{xy}'' \end{pmatrix}. \quad (9)$$

여기서 행렬  $N$ 의 원소들인  $A, B, S^p, S^s, R^p$  그리고  $R^s$  은 시료의 굴절율만을 알면 결정되는 양들이다. 따라서 행렬  $N$ 은 쉽게 구할 수 있고 좌변의  $p$  파와  $s$ 파에 대한 Kerr 회전각들은 측정 가능한 양이므로 행렬  $N$ 의 역행렬을 구하면 우리가 구하고자 하는 유전율 텐서의 비대각 성분  $\epsilon_{xy}'$ 과  $\epsilon_{xy}''$ 을 구할 수 있다. 이때, 이 행렬  $N$ 의 역행렬이 존재할 조건은  $\text{Im}(\theta_1) \neq 0$  이고, 이 조건은 결국  $\text{Im}(n_1) \neq 0$  이므로 금속 박막에 대해서는 항상 역행렬이 존재한다. 세로 Kerr 효과에 대한 경우에 대해서도 마찬가지로 적용될 수 있고, 얇은 박막의 경우와 매우 얇은 박막의 경우는 각각 수치 해석적으로 그리고 해석적으로 마찬가지로 방법의 계산이 가능하다.

### 3. 실험 결과와의 비교

유도된 이론의 유효성을 검증하기 위해 Deeter[2]가 보고한 바 있는 실험 결과를 이용하여 본 방법을 적용 시켜본 결과를 그림 1에 나타 내었다.

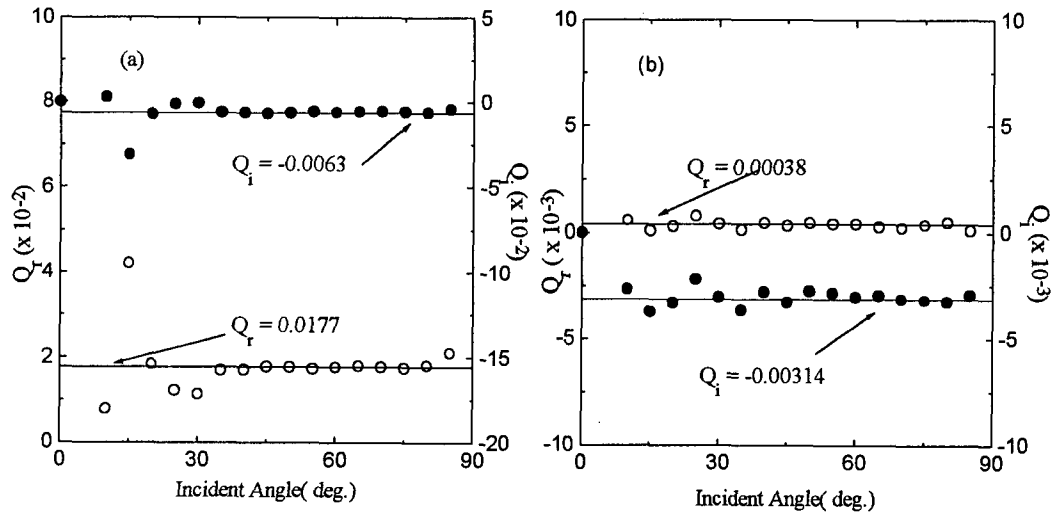


그림 1. Magneto-optical constant  $Q$  of (a) a Cu/Co multilayer for the longitudinal configuration and (b) a Co/Pd multilayer for the polar configuration. Solid lines represent reported values, while circles represent the calculated values using the present method.

### 4. 결론

입의 방향을 가지는 자화 벡터에 대한 Kerr 효과들의 간단화된 관계식들을 이용해서 별도의 타원율의 측정 없이  $p$ 파와  $s$ 파에 대한 Kerr 회전각들만을 이용해서 유전율 텐서의 비대각 성분, 혹은 자기광학 상수  $Q$ 를 측정하는 방법을 유도 하였다. 이러한 방법을 광학적으로 두꺼운 자성체와 매우 얇은 박막에 대해서는 해석적으로 보였고, 얇은 박막의 경우는 수치해석적으로 가능성을 보였다. Deeter가 Cu/Co 와 Co/Pd 초격자 다층 박막에 대한 입사각을 바꾸어서 측정한 실험 결과를 이용해 본 방법을 확인한 결과 자기광학 상수를 쉽게 구할 수 있음을 확인하였다.

### 4. 참고문헌

- [1] C.-Y. You and S.-C. Shin, Appl. Phys. Lett. 68, 2882 (1996).
- [2] M. N. Deeter and D. Strid, IEEE Trans. Magn. MAG-24 2470 (1988).