

## 광자기 Kerr 효과들의 단순화된 관계식.

한국과학기술원 유 천열\* · 신 성철,

Derivation of the Simplified Analytic Formulae for the Magneto-Optical Kerr Effects.

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

## 1. 서론

광자기 효과는 최근 정보화 사회로 들어서면서 각광 받고 있는 고밀도 기록 재질의 사용 가능성으로 높은 응용성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 강자성체의 광자기 Kerr 효과가 전자의 스핀 편극된 띠 구조에 기인 한다는 성질을 이용한 많은 연구가 활발히 연구 되어지고 있다. 이러한 대부분의 광자기 Kerr 효과에 대한 연구나 이를 이용한 자성체의 성질에 대한 연구는 시료의 자화 방향이 한 방향으로 국한 되어 있는 경우나, 빛의 입사 방향이 결정되어 있고 단지 그 입사 방향으로 사영(projection)된 자화 벡터의 성분만이 고려의 대상이 되는 경우였다. 임의의 방향을 가지는 자화 벡터에 대해 임의의 입사각의 빛에 대한 자기광학 효과의 중요한 관계식들을 두꺼운 막의 경우 Hunt[1]가 이미 유도하였고, 최근의 경우 Zak[2]와 Yang[3]이 이 관계식을 일반화 하였으나, 이들이 유도한 관계식은 너무 복잡하여서 실제로 해석적으로 이용하기에는 적합치 못하였다. 이에 본 연구에서는 이러한 복잡한 관계식들을 수직 입사시의 극 Kerr 효과에 의한 인자와 시료의 광학적 성질과 입사각만의 함수로 주어지는 에벌 인자(prefactor)의 곱으로 나타나는 간단한 형태로 바꿀 수 있음을 보였다. 또한 Deeter[4]의 실험 결과를 간단히 정리된 이 관계식들로 잘 설명 할 수 있음을 보였다.

## 2. 광자기 Kerr 효과들의 단순화된 관계식.

우리는 임의의 방향을 가진 자화 벡터의 경우에 대해 경사각으로 입사한 빛에 대한 광자기 Kerr 효과들의 복잡한 관계식들을 스넬의 반사 법칙과 삼각 함수만을 이용해서 수직 입사시의 극 Kerr 효과에 의한 주 인자(main factor)와 시료의 광학적 성질과 입사각만의 함수로 주어지는 에벌 인자(prefactor)의 곱으로 나타나는 간단한 형태로 바꿀 수 있음을 다음과 같이 보였다.

비자성체인 매질 0에서 자성체인 매질 1로 빛이 입사각  $\theta_0$ 로 입사하는 경우를 생각해보자. 자기광학 상수  $Q$ 는  $Q = i \frac{c_{xy}}{c_{xx}}$  와 같이 정의되고  $m_i$ ;  $i = x, y, z$ 는 각각 자화 벡터  $\vec{M}_s$ 의  $x, y, z$  방향의 방향 코사인 성분으로 정의 할 경우 자기광학 프레넬 반사 계수  $r_{ij}$ 를 얻을 수 있고, 이는  $j$  편광 성분의 입사 전기장에 대한  $i$  편광 성분의 반사 전기장의 비를 의미하고 일반적으로 복소수이다. 광학적으로 두꺼운 박막의 경우의  $p$  파와  $s$  파에 대한 복소 Kerr 회전각이  $Q$ 에 대한 1차 근사 범위에서 아래와 같이 간단히 정리된다.

$$\Theta_K^p \equiv \frac{r_{sp}}{r_{pp}} = \frac{\cos \theta_0 (m_x + m_y \tan \theta_1)}{\cos(\theta_0 + \theta_1)} \cdot \Theta_n, \quad (1)$$

$$\Theta_K^s \equiv \frac{r_{ps}}{r_{ss}} = \frac{\cos \theta_0 (m_x - m_y \tan \theta_1)}{\cos(\theta_0 - \theta_1)} \cdot \Theta_n. \quad (2)$$

여기에서  $\theta_1$ 는 스넬의 법칙에 의해 결정되는 자성체 매질 1에서의 굴절각이고,  $\Theta_n$ 은 두꺼운 자성체에 대한 수직 입사시의 복소 Kerr 회전각으로 다음과 같다.

$$\Theta_n \equiv \frac{i n_0 n_1 Q}{(n_1^2 - n_0^2)} \quad (3)$$

또 매우 얇은 박막의 경우 다중 간섭 효과를 고려하기 위해 매질 경계 행렬과 매질 진행 행렬을[2] 이용해 두께  $d$ 인 자성체에 대해  $2\pi|n_1|d_1 \ll \lambda$ 인 조건을 만족하는 범위에서 1차 근사를 취해보면 아래와 같은 관계식을 얻는다.

$$\Theta_K^p \equiv \frac{r_{sp}}{r_{pp}} = \frac{\cos \theta_0}{\cos(\theta_0 + \theta_2)} (m_x \cos \theta_2 + m_y \frac{\sin^2 \theta_1}{\sin \theta_2}) \Theta_n^0, \quad (4)$$

$$\Theta_K^s \equiv \frac{r_{ps}}{r_{ss}} = \frac{\cos \theta_0}{\cos(\theta_0 - \theta_2)} (m_x \cos \theta_2 - m_y \frac{\sin^2 \theta_1}{\sin \theta_2}) \Theta_n^0. \quad (5)$$

여기서  $\theta_2$ 는 기판에서의 굴절각이고,  $\theta_n^0$ 는 매우 얇은 박막에서 수직 입사시의 복소 Kerr 회전각이므로 다음과 같다.

$$\theta_n^0 \equiv \frac{4\pi n_0 d n_1^2 Q}{\lambda(n_2^2 - n_0^2)} \quad (6)$$

### 3. 실험 결과와의 비교

유도된 이론의 유효성을 검증하기 위해 Deeter[4]가 보고한 바 있는 실험 결과와 본 연구에서 단순화시킨 결과를 비교해 보도록 하겠다. Deeter는 수직 자성을 가지는 (1.8-Å Co/9-Å Pd)<sub>200</sub>의 시료를 이용해서 극 Kerr 회전각을, 수평 자성을 가지는 (50-Å Cu/55.8-Å Co)<sub>10</sub>의 시료를 이용해서는 세로 Kerr 효과를 각각 입사각을 5°에서 85°까지 5° 씩 변화 시켜가며 측정을 하였다. 여기서 각 점들은 Deeter의 실험 결과이고 실선과 점선들은 계산 결과 중 실수부에 해당하는 값들이다.

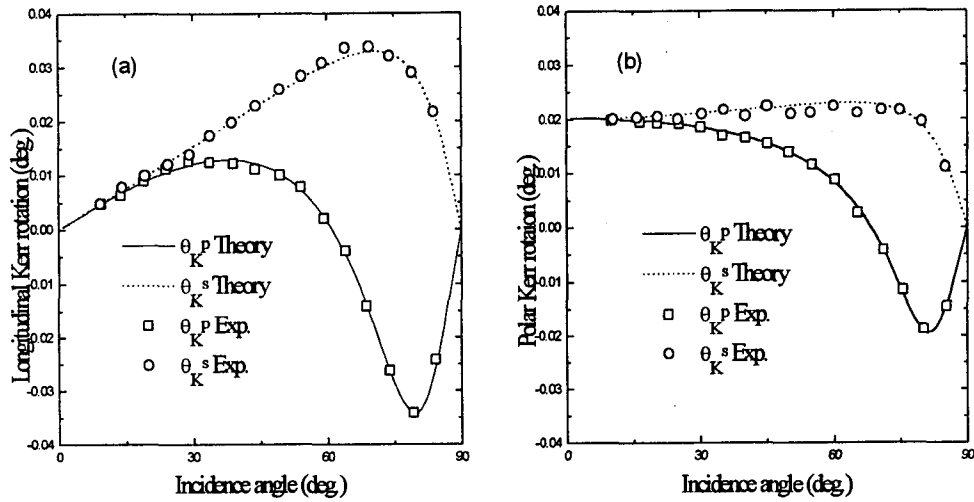


그림 1. Experimental and theoretical p- and s- Kerr rotation curves (a) of a Cu/Co multilayer for the longitudinal configuration (b) of a Co/Pd multilayer for the polar configuration.

### 4. 결론

입의 방향을 가지는 자화 벡터에 대해 일반적인 경우에 성립하는 것으로 잘 알려진 p 파와 s 파에 대한 Kerr 효과의 관계식들을 단순하게 정리하였다. 이러한 관계식들을 p 파와 s 파에 대한 극 및 세로 Kerr 효과에 대해서 모두 공통으로 나타나는 수직 입사시의 극 Kerr 효과에 해당하는 인자와 광학적인 성질과 입사각만의 함수로 나타나는 애벌 인자(prefactor)의 곱으로 간단히 나타내어짐을 발견 하였다. 이렇게 간단하게 정리된 관계식들은 자기광학 Kerr 효과 자체를 측정하거나 이를 이용한 자성체의 자기적 성질을 측정하는데 유용하게 사용되어 질 수 있다.

### 4. 참고문헌

- [1] R. P. Hunt, J. Appl. Phys. 38, 1652 (1967).
- [2] J. Zak, E. R. Moog, C. Liu, and S. D. Bader, J. Appl. Phys. 68, 4203 (1990).
- [3] Y. J. Yang and M. R. Scheinfein, J. Appl. Phys. 74, 6810 (1993).
- [4] M. N. Deeter and D. Sarid, IEEE Trans. Magn. MAG-24 2470 (1988).