

광자기 Kerr 분광기의 편광자 결함의 영향

한국과학기술원 유 천열* · 신 성철

Effects of the polarizer imperfections in Magneto-Optical Kerr Spectrometer

KAIST C.-Y.You* and S.-C.Shin

1. 서론

자기 광학 현상 연구의 필수 장비인 광자기 Kerr 분광기에 있어서 편광자와 검광자의 결함(imperfection)의 영향에 대하여 연구하였다. Jones matrix를 사용한 계산 결과, 편광자와 검광자의 결함 효과는 1차 근사 범위 안에서 자기 광학 효과를 측정하는데 큰 영향을 주지 않음을 발견했다. 이를 근거로 extinction ratio $\alpha \leq 10^{-2}$ 인 자외선용, 가시광용 dichroic sheet type의 편광자와 검광자를 사용하여 photoelastic modulator(PEM)을 이용한 위상 변조 방식의 광자기 Kerr 분광기를 설계, 제작하여 250 nm ~ 800 nm 파장 범위에서 실험한 결과 1차 근사 범위 내에서 계산치와 일치함을 확인하였다.

2. Imperfect polarizer에 대한 계산

편광자와 검광자가 불완전한 요소들을 가지고 있을때에 대해 측정되는 신호를 imperfection 요소들의 1차 근사 범위 내에서 계산하여 정리하면 각 항은 아래와 같이 주어진다.

$$I(0) = I_0 R \left\{ (1 + 2\alpha_{1r}) - 2(\alpha_{2i} + \alpha_{3i}) \frac{\Delta R}{2R} - 2\beta_{1r} \cos(2p + \Delta\theta) + J_0(\delta_0) \left[-\sin(2p + \Delta\theta) - 2(\alpha_{2r} + \alpha_{3r}) \cos(2p + \Delta\theta) - 2\beta_{1i} \frac{\Delta R}{2R} \right] \right\} \quad (1)$$

$$I(\omega) = 2J_1(\delta_0) I_0 R \left\{ -(1 + 2\alpha_{1r}) \frac{\Delta R}{2R} - 2(\alpha_{2i} + \alpha_{3i}) + 2\beta_{1i} \sin(2p + \Delta\theta) \right\} \quad (2)$$

$$I(2\omega) = 2J_2(\delta_0) I_0 R \left\{ -(1 + \alpha_{1r}) \sin(2p + \Delta\theta) + 2(\alpha_{2r} + \alpha_{3r}) \cos(2p + \Delta\theta) - 2\beta_{1i} \frac{\Delta R}{2R} \right\} \quad (3)$$

여기서 각 α_i, β_i 는 편광자, 검광자의 불완전한 정도를 나타내는 양으로 0에 가까운 복소수이다. p 를 0° 로 하고 $\theta_K, \epsilon_K \ll 1, |\tilde{\alpha}_i|, |\tilde{\beta}_i| \ll 1$ 인 사실을 이용하여, $J_0(\delta_0) \approx 0$ 이 되도록 δ_0 를 정하면[1] 위 식(1),(2),(3)는 다음과 같이 근사 되어진다.

$$I(0) \approx I_0 R \{1 + 2\alpha_{1r}\} \quad (4)$$

$$I(\omega) \approx -2AJ_1(\delta_0) I_0 R \left\{ (1 + 2\alpha_{1r}) \frac{\Delta R}{2R} - 2\beta_{1i} \sin(2p + \Delta\theta) \right\} \quad (5)$$

$$I(2\omega) \approx -2BJ_2(\delta_0) I_0 R \left\{ (1 + 2\alpha_{1r}) \sin(2p + \Delta\theta) + 2\beta_{1i} \frac{\Delta R}{2R} \right\} \quad (6)$$

위 식들의 유도 과정에서 cosine 함수가 우함수이고, 광자기 현상 측정시 자기장의 변화에 대해 상수인 양들은 소거됨을 이용하였다.

3. 측정 결과 및 분석

앞절의 계산 결과를 실험적으로 분석하기 위하여 파장 250 nm ~ 400 nm의 범위에서 extinction ratio가 10^{-2} 정도인 자외선용 sheet type 편광자와 검광자 (ultraviolet dichroic polarizer, Oriel 27320)를 사용하여 다음과 같은 실험을 하였다. 자기 광학 효과가 없는 거울을 시료의 위치에 놓고

편광자의 각도 p 를 $\pm 1^\circ$ 씩 돌리며 $I(\omega)$ 를 측정 한 결과를 그림 1에 도식하였다. 그림 1에서 보면 $p = \pm 1^\circ$ 일때의 실험치를 함께 나타 내었는데, 두 실험치의 차이가 결국 타원율을 측정하는데 있어서 $4\beta_{1i} \sin(2p + \Delta\theta)$ 항이 기여하는 정도를 나타내므로 타원율을 측정시 β_{1i} 에 의한 오차는 무시 할 수 있을 만큼 작다고 할 수 있다. 편광자와 검광자의 결합에 의한 효과는 타원율을 측정시 무시 할 만큼 작다고 사려된다.

그림 2는 편광자의 각도 p 를 0° 에서 360° 까지 회전시키며 $I(2\omega)$ 를 파장 300 nm 에서 측정 한 결과 이다. 이 그림에서 실험치는 원으로 나타내었고, p 의 값이 작지 않으므로 식(3)를 이용하여 $I(2\omega)$ 를 fitting 한 결과를 실선으로 함께 나타내었다. 편광자의 결합 α_{2r}, α_{3r} 에 의한 오차는 결국 비례 상수의 값을 변화하고 편광자의 각도 p 를 $2p' = 2p - \phi_0$ 로 놓으면 결국 이 영향은 정량화 과정을 통하여 소거된다. 이 경우 결국 1차 근사의 범위 내에서 오차를 유발하는 항은 무시할 만하다고 결론을 내릴 수 있다.

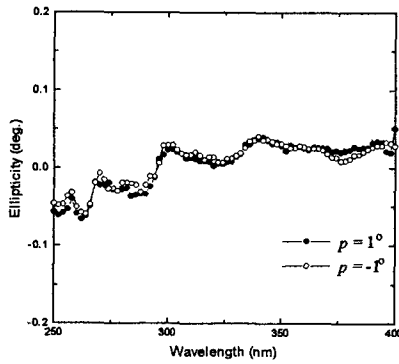


Fig.1 $I(\omega)$ signals at the polarization angle $p = +1^\circ$, and $p = -1^\circ$. The errors in ellipticity are the differences of two signals.

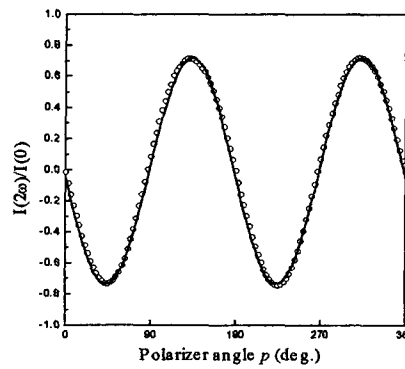


Fig.2 $I(2\omega)/I(0)$ signal dependence on the polarizer angle p . Circles represent experimental data, and the solid line is a fitting curve.

4. 결론

PEM(photoelastic modulator)를 이용한 위상 변조 방식의 광자기 Kerr 분광기 장치에 있어서 편광자와 검광자의 결합의 영향에 대해 Jones matrix를 써서 1차 근사까지 계산하였다. 계산 결과 편광자와 검광자의 결합의 효과는 1차 근사 범위 안에서 검광자의 β_{1i} 항을 제외하고는 모두 정량화 과정을 통하여 제거됨을 알 수 있었고, 자기 광학 효과인 Kerr 회전각과 타원율이 작다는 가정하에서 근사할 경우 β_{1i} 항에 의한 오차 역시 무시될 수 있음을 실험적으로도 확인하였다. 따라서 편광자와 검광자의 성능은 자기 광학 효과를 측정하는데 큰 영향을 주지 않는다는 것을 발견했다.

5. 참고문헌

- [1] C.-Y.You, H.-S.Lee, and S.-C.Shin, in press.