

## 타원계측기에서 광원과 광학부품의 편광특성 영향

# Polarization sensitive effects of light source and optical components in ellipsometry

제갈원, 조현모, 조용재, 예상헌  
 한국표준과학연구원 전략기술연구부 나노바이오융합 연구단  
 wchegal@kriss.re.kr

측정시료에서의 반사 전후에 발생하는 민감한 편광상태의 변화를 이용하여 박막의 두께를 얻어내는 타원계측법은 반도체, 디스플레이, 바이오박막 분석 등의 다양한 분야에서 광범위하게 이용되고 있는 계측방법이다. 타원계측기는 광학구조와 형태에 따라서 다양한 종류가 있는데, 이 중에서 가장 널리 사용되고 있는 구조는 (광원)/(편광자)/(측정시료)/(검광자)로 구성된 회전 검광자형 타원계측기이다. 회전 검광자형 타원계측기는 사용되는 편광소자의 개수를 최소화할 수 있어, 타원계측기의 제작과 사용된 편광소자에 대한 보정이 용이하며, 광원의 편광상태에 대하여 비교적 둔감한 장점이 있다. 하지만, 수광부의 편광 응답특성에 대한 고려와 사용 환경이 암실에서 운영되어야 하는 단점가지고 있다.

타원계측기에서 측정되는 상수는 측정시료의 반사계수의 상대 진폭비,  $\psi$  와 위상차  $\Delta$  로,

$$\rho \equiv \frac{R_p}{R_s} = \tan \psi \exp(j \Delta) \tag{1}$$

와 같이 정의되며, 수식 모델링을 위하여 존스행렬을 이용하여 표현하게 되면 아래의 식과 같다. 이때 편광자는 이상적인 선형편광자로 가정한다.

$$\begin{pmatrix} E_{x,o} \\ E_{y,o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A & -\sin A \\ \sin A & \cos A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A & \sin A \\ -\sin A & \cos A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_p & 0 \\ 0 & R_s \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos P & -\sin P \\ \sin P & \cos P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos P & \sin P \\ -\sin P & \cos P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{x,i} \\ E_{y,i} \end{pmatrix} \tag{2}$$

위의 수식을 이용하여 측정되는 빛의 세기와 편리에 계수는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$I_{out} = E_{out}^* \cdot E_{out} = I_0(1 + \alpha \cos 2A + \beta \sin 2A) \tag{3}$$

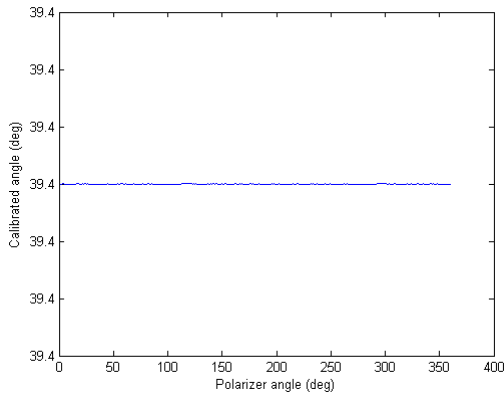
$$\alpha = \frac{\tan^2 \psi - \tan^2 P}{\tan^2 \psi + \tan^2 P}, \quad \beta = \frac{2 \tan \psi \cos \Delta \tan P}{\tan^2 \psi + \tan^2 P} \tag{4}$$

회전 검광자형 타원계측기에서의 광원과 광학부품의 편광특성에 따른 영향을 알아보기 위해서는 측정광의 편광상태를 일반적인 타원편광으로 가정하고, 편광자와 검광자의 존스행렬 식을 아래와 같이 일반적인 형태를 사용하여 모델링 하여야한다<sup>1</sup>.

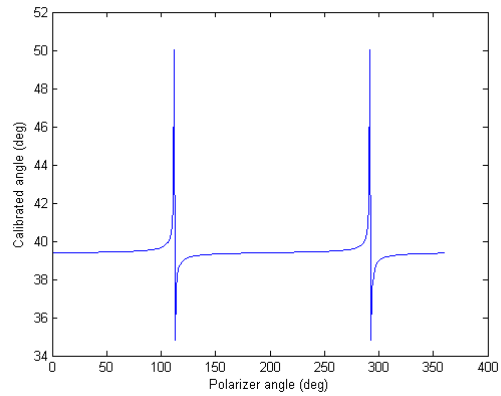
$$E_{in} = \begin{pmatrix} E_x \exp(j\phi_x) \\ E_y \exp(j\phi_y) \end{pmatrix}, \quad \text{polarizer} = \begin{pmatrix} A_x^2 & A_x A_y e^{-j(\phi_y - \phi_x)} \\ A_x A_y e^{j(\phi_y - \phi_x)} & A_y^2 \end{pmatrix}$$

$$\text{retarder} = \begin{pmatrix} e^{j\delta/2} A_x^2 + e^{-j\delta/2} A_y^2 & 2j \sin(\delta/2) A_x A_y e^{-j\Delta} \\ 2j \sin(\delta/2) A_x A_y e^{j\Delta} & e^{-j\delta/2} A_x^2 + e^{j\delta/2} A_y^2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

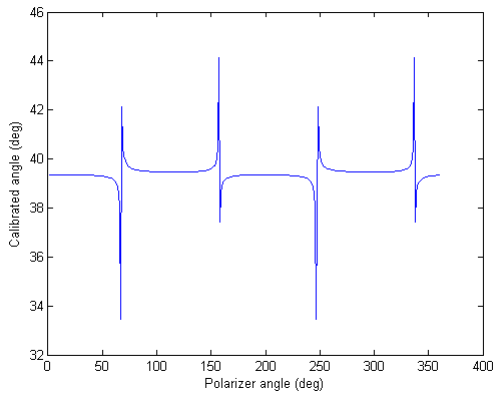
측정광의 편광상태와 광학부품의 편광특성을 고려하여 회전검광자형 타원계측기를 이용하여 straight-through configuration에서의 편광판과 위상 지연판을 측정시료로 하여 주축을 구해내는 모의 실험을 한 결과는 아래의 그림과 같이 편광자의 방위각에 따라서 일정한 값이 나오지 않음을 알 수 있다. 이는 광원의 편광상태와 편광자의 비이상적인 응답특성으로 인한 것으로 입사광의 정확한 편광상태와 편광자의 편광특성을 고려하여 보정을 하여야 정확한 측정결과를 얻을 수 있다.



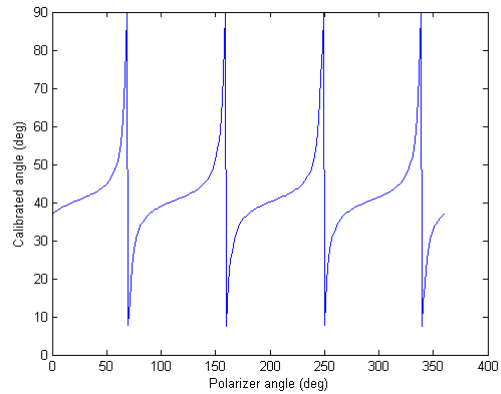
(a) 편광판 방위각 측정 (ideal case)



(b) 편광판 방위각 측정 (real case)



(c) 위상 지연판 방위각 측정 (ideal case)



(d) 위상 지연판 방위각 측정 (real case)

그림. 회전 검광자형 타원계측기를 이용한 편광판과 위상 지연판의 방위각 측정 모의실험

참고문헌

1. David S. Kliger, James W. Lewis, Cora Einterz Randall, *Polarized light in optics and spectroscopy*, (Academic Press, 1990).