

# Ellipsometry 에서의 calibration 및 입사면 고정형 ellipsometer

경재선\*, 방경윤\*, 최은호\*, 손영수\*\*, 안일신\*, 오혜근\*

\* 한양대학교 물리학과, \*\*나노뷰㈜

## 초 록

일반사용자들은 ellipsometer를 사용이 어려운 장비로 인식하고 있다. 본 연구는 초보자들이 손쉽게 사용할 수 있는 ellipsometer를 제작하는데 목적이 있다. 시편을 측정하기 전에 반드시 해야 할 과정인 alignment와 calibration을 하지 않고 측정할 수 있도록 제작하였다. 기본 구조는 rotating compensator spectroscopic ellipsometry를 이용하였으며, 입사각을 70도로 고정시키고 기존의 sample holder 구조를 바꾸어 어떠한 시편을 놓아도 입사면이 변하지 않게 하여 calibration이 요구되지 않는 ellipsometer를 개발하였다.

장비의 성능과 정밀도를 검사하기 위하여 여러 가지 표준시료를 측정하여 일반 RCSE와 측정결과를 비교하였다. 또한 고정된 입사면의 calibration값의 신뢰도를 검사하기 위하여 반복적으로 측정할 때마다 시편을 재배치하여 실험하였다.

## 1. 서론

Ellipsometry는 다른 장비에 비해 엄청나게 많은 응용분야에 사용되는 만큼 기술적으로 복잡함이 있는데 다양한 응용분야에 적당한 여러 종류의 ellipsometer가 있다. 연구소나 산업현장에서 주로 많이 쓰이는 ellipsometer로는 Rotating Polarizer Ellipsometry(RPE), Rotating Analyzer Ellipsometry(RAE), Rotating compensator Ellipsometry(RCE) 등이 있다. Ellipsometry는 측정을 하기 전에 반드시 해야 할 과정이 있다. 광 측정기술이기 때문에 source로 사용하는 빛을 각각의 광부품과 측정하고자 하는 시편에 잘 정렬시켜야 하는데 이것을 alignment라고 한다. Alignment를 마친 후에 polarizer, analyzer 같은 광부품들은 광축을 가지고 있기 때문에 시편을 놓을 때마다 조금씩 변하는 입사면을 찾고 이 입사면을 기준으로 하여 광부품들의 위치각을 찾아야 하는데 이것을 calibration이라고 한다. 대부분 이 calibration 시간이 실제 측정시간보다 훨씬 긴 경우가 많다. Calibration 과정에서 ellipsometer 종류에 따라 광부품의 수가 늘어나면 찾아야 하는 위치각도 그만큼 늘어나게 된다. RCE는 위상지연보상판인 compensator를 사용함으로써 반사광이 선형 편광에 가까워질 때 생기는 실험 오차를 줄일 수 있고, polarizer와 analyzer가 데이터를 얻는 동안 그 위치가 고정되어 있으므로 광원이 가지고 있는 잔류 편광이나 검광기가 가지고 있는 polarization sensitivity의 문제가 전혀 없는 장점을 가지고 있다. 즉 RPE, PAE가 지니고 있는 단점을 없앤 ellipsometry인 것이다. 하지만 RPE, RAE보다 calibration 과정이 polarizer, analyzer는 물론 compensator의

위치각까지 찾아야 하기 때문에 훨씬 더 복잡하다. Calibration 및 입사면 고정형 ellipsometer 는 RCE 의 기본적인 구조와 기능을 사용하며 입사각을 70 도로 고정시키고, 기존의 sample holder 구조를 바꾸어 어떠한 시편을 놓아도 입사면이 변하지 않게 하였다. Calibration 및 입사면 고정형 ellipsometer 는 입사각을 고정시키는 대신에 많은 시간이 필요했던 alignment 와 calibration 과정을 미리 해 놓음으로써 시간과 수고를 절약할 수 있고, 무엇보다도 측정부분에 대해서는 초보자도 쉽게 ellipsometer 를 사용할 수 있다는 것이 장점이라고 할 수 있겠다.

## 2. 이론

RPE 에서 쓰이는 calibration 방법은 residual calibration 과 phase calibration 을 사용한다. 영점을 기준으로 -5 에서 +5 도 사이를 analyzer 각(A)을 일정 간격씩 움직여 가면서 다음과 같은 residual 함수(R)와 phase 함수( $\Theta$ )를 측정하게 된다.

$$R = 1 - (\alpha'^2 + \beta'^2),$$

$$\Theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\beta'}{\alpha'}$$

여기서  $\alpha'$  과  $\beta'$  은 ellipsometry 측정시 얻은 normalized Fourier 계수이다. 이 함수들 속의 Fourier 계수를 시편이 지닌 물리량인 ( $\Delta, \Psi$ )로 바꾸어 표현하면 이들 함수는 입사면 근처에서 다음과 같은 근사식이 된다.

$$R(A) \sim \{2 \sin \Delta \cot \Psi\}^2 (A - A_s)^2, \quad |A - A_s| \ll 1, .$$

$$\Theta(A) \sim P_s + \cot \Psi \cos \Delta (A - A_s), \quad |A - A_s| \ll 1$$

RCE 에서는 RPE 와 같이 residual calibration 과 phase calibration 을 사용하지만 수식은 좀 더 복잡하다. 다음과 같은 residual 함수(R)와 phase 함수( $\Theta$ )를 측정하게 된다.

$$R_2 = I_0^2 (\alpha_2'^2 + \beta_2'^2),$$

$$\Theta_4 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{\beta_4'}{\alpha_4'} \right),$$

$$\Theta_2 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{\beta_2'}{\alpha_2'} \right)$$

RPE 와 마찬가지로 Fourier 계수를  $\Delta, \Psi$  로 바꾸어 표현하면 이들 함수는 입사면 근처에서 다음과 같은 근사식이 된다.

$$R_2(P') \sim (\tan \Psi \sin \Delta)^2 (P - P_s)^2, \quad P = P_s$$

$$\Theta_4(P') \sim 2C_s + A' + \cot \Psi \cos \Delta (P - P_s), \quad P = P_s$$

$$\Theta_4(P') \sim 2C_s + A' + \tan \Psi \cos \Delta \{P - (P_s + \pi/2)\}, \quad P = P_s + \pi/2$$

$$\Theta_2 = -(C_s + A)$$

따라서 polarizer 0 도 근처( $P_s$ )를 움직이면서 20 회 정도 측정한 값들로부터 상기 근사식과 같은 관계를 유도하며 이 관계식으로부터 polarizer, analyzer, compensator 의 위치각을 찾아내는 것이다. 그런데 이 값들은 시편 alignment 가 달라질 때마다 변하게 된다.

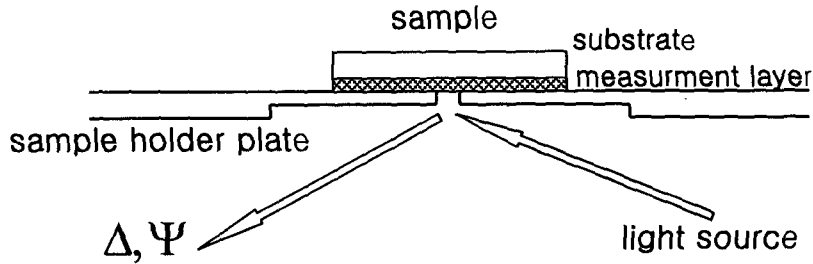


Fig. 1. 입사면 고정 원리

Alignment 와 calibration 이 필요 없게 하기 위해서는 측정할 시편을 놓을 때 마다 항상 같은 입사면이 나오게 해야 했기 때문에 주로 쓰이는 70 도로 입사각을 고정시키고 Fig.1 과 같은 system 으로 제작하였다.

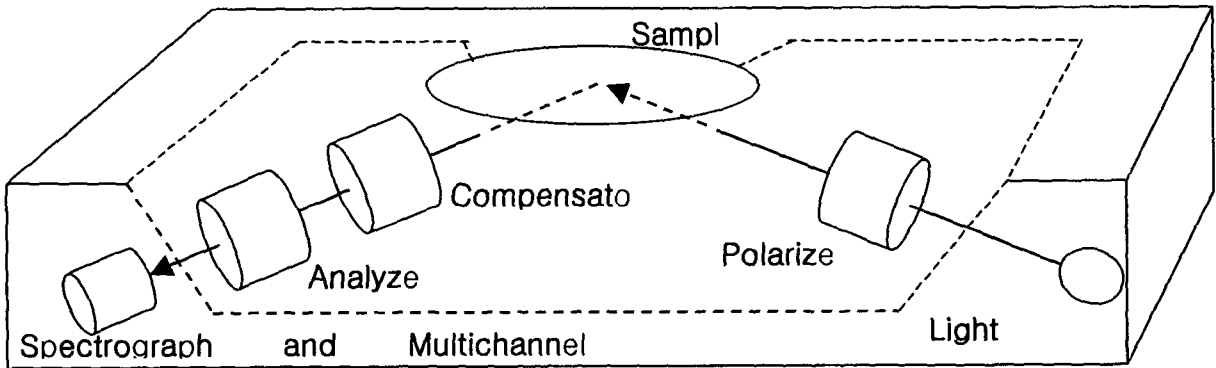


Fig. 2. 입사면 고정형 ellipsometer의 전체 및 내부 구조도

그림에서처럼 시편의 측정할 면을 아래방향으로 놓는 것이 중요하고, 광부품을 연결하고 있는 arm이 내부에 70도의 입사각으로 고정되어있음을 알 수 있다.

### 3. 실험 및 실험결과

측정에 사용된 light source 는 분광범위가 340nm ~ 840nm 인 halogen lamp 이며, Glan-Taylor 형의 polarizer(analyzer),  $MgF_2$  compensator 를 사용하였다.

장치의 신뢰도 및 정밀도를 검사하기 위하여 Fig.3 과 같이 표준시료를 측정하였다. 표준시료로는 crystallian silicon wafer, Gallium Arsenide wafer,  $Si_3N_4$ ,  $SiO_2$ (thick)을

사용하였고, Calibration 및 입사면 고정형 ellipsometer 와 일반적인 구조의 RCSE 결과를 비교하여 측정 신뢰도를 검사하였다.

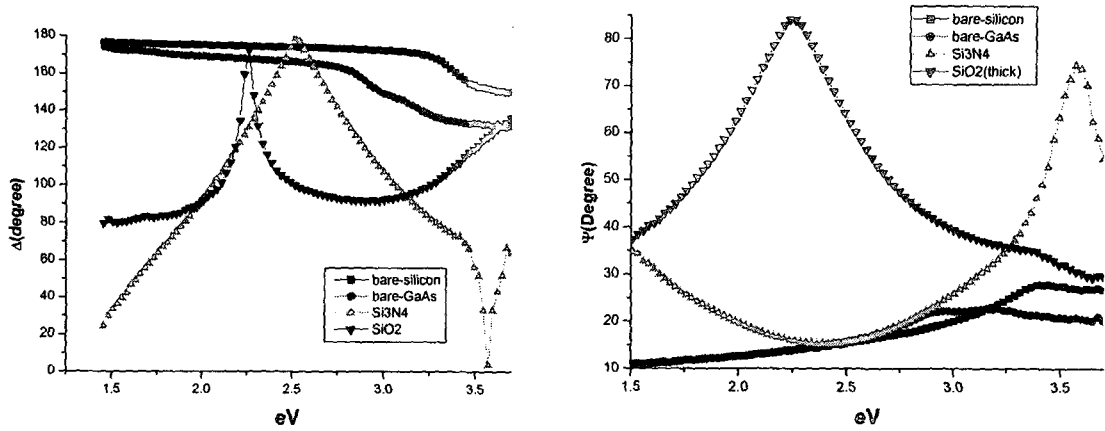


Fig. 3. 표준시료의  $\Delta, \Psi$  spectrum

측정을 반복할 때마다 c-Si wafer 를 재배치하여 입사면이 고정됨을 보았고, c-Si wafer 를 25 회 재배치 할 때마다 같은 point 를 측정할 때 두께 측정 결과의 오차율을 보았다. Fig.4 에서 같은 파장에서  $\Delta$  값이 최대 0.3 도 차이가 있었고, 이것은 산화막 두께로 계산해보면 약 10 의 차이가 있음을 알 수 있었다.

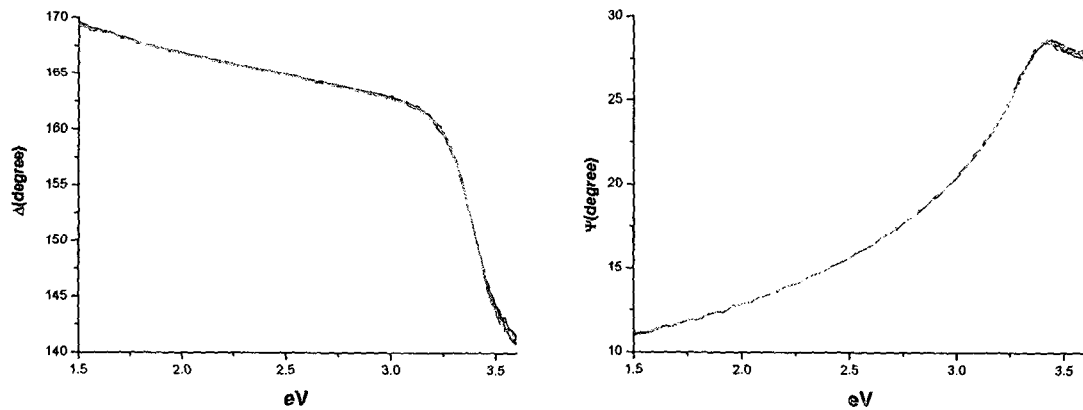


Fig. 4. c-Si wafer 25회 재배치 반복 측정의  $\Delta, \Psi$  spectrum

Table. 1. Calibration 및 입사면 고정형 ellipsometer 와 RCSE 두께 측정값 비교

	c-Si wafer	GaAs wafer	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub> (Thick)
입사면 고정형 RCSE	15 □ (산화막)	16 □ (산화막)	1331.9 ± 5 □	1226.3 ± 5 □
RCSE	15 □ (산화막)	16 □ (산화막)	1326 ± 5 □	1220.1 ± 5 □

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 ellipsometer 는 사용하기 어렵다는 일반적인 생각을 없애기 위해서 사용하기 쉬운 ellipsometry 를 만드는데 목적을 두었다. 측정하기 전에 많은 시간과 수고를 할애하는 alignment 와 calibration 과정을 근본적으로 없앨 수 있는 방법으로 입사면을 고정시키고 어떤 시편을 측정하던지 입사면이 변하지 않는 sample holder 를 사용하였다. 그리하여 RCE 의 장점을 가지면서 성능 또한 뒤떨어지지 않는 입사면 고정형 ellipsometer 를 제작할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 교내연구 특성화연구팀 공모사업(HY-2002-T)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 안일신, "엘립소미트리", 한양대학교 출판부, pp. 158-167, 2000.
- [2] Azzam, R.M.A. and Bashara, N.M. "Ellipsometry and Polarized Light", North Holland, Amsterdam, pp.417-486, 1977
- [3] Myeongkyu Park, "Calibration Method for Rotating Compensator Spectroscopic Ellipsometer", M.S. Thesis, The Hanyang University, 2000