

Rotating Compensator Spectroscopic Ellipsometry 의 개발 및 응용

이재호, 방경윤, 박준택, 오혜근, 안일신

한양대학교 물리학과

초록

Rotating compensator spectroscopic ellipsometry의 개발과 그의 응용에 대하여 연구하였다. Spectroscopic ellipsometry는 편광된 빛이 물체의 표면에서 반사된 후 빛의 편광된 상태를 넓은 파장의 영역에 걸쳐서 측정하여 그 물질의 광학적 특성을 알아 낼 수 있는 기술이다. RCSE의 경우 얇은 투명 박막에 보다 정확한 값을 줄 뿐만 아니라, 박막의 균질도를 알 수 있는 편광 정도를 측정을 할 수 있다. 본 장비의 측정 시간은 십여 초 정도이고, 분광 범위는 1.5 eV ~ 4.5 eV이다. RCSE를 이용한 박막의 광학적 물성과 두께 그리고 deep-UV용 감광제의 선폭을 측정하였다.

1. 서론

Ellipsometry는 독일의 Paul Drude [1]를 시조로 삼으면 약 110여 년의 역사를 가진 광 분석 기술인데 물리나 화학 실험실에서 조금씩 사용되어 오다가 근간에 반도체 산업을 위주로 한 각종 박막, 재료 관련 산업에서 크게 각광을 받기 시작하였다 [2-5]. 이는 물론 70년대 소형 컴퓨터의 도입으로 인한 측정의 자동화가 시작되는 것과 같은 시기이다. 다른 측정 장비가 가지지 못한 독특한 특성과 또한 종류의 다양성, 사용 및 분석의 복잡성 때문에 대부분 그 광 특성이 잘 알려진 투명 박막의 두께 측정이나 덩이(bulk) 형태의 물질의 광 특성 연구에 많이 사용이 되어 왔다. 하지만 최근 박막의 두께가 점차 얇아지고 또한 사용하는 물질의 종류가 다양해짐에 따라 좀 더 복잡한 정보를 얻고자 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 사용자의 저변이 확대되고 응용의 범위를 확장시켜 가면서 ellipsometry에 대한 관심이 크게 늘고 있다 [6-9].

그러나 다른 장비에 비해 엄청나게 다른 응용 분야가 있는 만큼 기술적으로 복잡함이 있는데 이는 ellipsometry의 종류가 100 종이 훨씬 넘는 것을 보면 짐작할 수 있다. 이처럼 각 종류마다 그 특성과 응용할 수 있는 분야가 크게 다르다. 여기서 rotating compensator spectroscopic ellipsometry (RCSE) (그림 1)는 ellipsometry가 가진 기본적인 기능과 함께 분광 능력의 추가로 band 구조등 물질의 전자적 상태의 연구와 통계적인 fitting 과정의 도입으로 시편이 가진 많은 미지수를 추출해 내는데 사용을 할 수가 있다. 추가적인 RCSE의 몇 가지 장점을 보면 첫째는 quarter wave plate를 사용함으로써 반사광의 선형 편광에 가까워질 때 생기는 실험 오차를 줄임으로 투명 박막이나, 투명 기판을 많이 사용하는 표면 화학이나 display 산업에 적용이 가능하다. 둘째로는 polarizer와 analyzer가 data를 얻는 동안 그 위치가 고정되어 있으므로 광원이 가지고 있는 잔류 편광이나 detector가 가지고 있는 polarization sensitivity의 문제가 전혀 없다. 그리고 depolarization을 발생 시키는 시편에 대해 그 정도를 알아낼 수 있다. 즉, rotating

polarizer (analyzer) ellipsometry가 지니고 있는 단점을 다 없앤 ellipsometry가 되겠다.

2. 이론

각속도 ω 로 회전하는 compensator 인 RCSE 의 경우 식 (1)과 같은 삼각 함수 파형의 빛의 밝기를 얻게 된다.

$$I(t) = I_0 \{1 + \alpha_2 \cos 2(\omega t - C_s) + \beta_2 \sin 2(\omega t - C_s) + \alpha_4 \cos 4(\omega t - C_s) + \beta_4 \sin 4(\omega t - C_s)\} \quad (1)$$

여기서 얻은 Fourier 계수 $\{\alpha_2, \beta_2, \alpha_4, \beta_4\}$ 로부터 시편에서 반사된 변수인 타원 편광의 장축 방위각인 Q 와 타원의 타원율인 χ 를 구할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\beta_4}{\alpha_4} \right) - A \quad (2)$$

$$\chi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\alpha_2 \cos 2(A+Q) \tan \frac{\delta}{2}}{2\alpha_4 \sin 2A} \quad (3)$$

여기서 A 는 analyzer 의 입사면에 대한 투과축의 방위각이며, δ 는 compensator 의 retardance 이다. 이 두 식 (2)와 (3)에서 구한 두 변수를 이용하여 다음 식에서 ellipsometry 각인 (Δ, Ψ)를 구할 수 있다.

$$\Delta = \cos^{-1} \left[\frac{\cos 2\chi \sin 2Q (1 - \cos 2\Psi \cos 2P)}{\sin 2\Psi \sin 2P} \right] \quad (4)$$

$$\Psi = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left[\frac{\cos 2P - \cos 2Q \cos 2\chi}{1 - \cos 2Q \cos 2\chi \cos 2P} \right] \quad (5)$$

이렇게 측정하여 얻은 Δ, Ψ 의 값과 박막 modeling 에 대한 이론치 Δ, Ψ 값의 비교를 함으로써 박막의 광학적 특성을 찾을 수 있다.

3. 실험

본 연구를 위하여 시편들을 준비하였다. 하나는 다른 선평의 deep-UV 용 photoresist (PR)시편과 다른 하나는 Crystalline silicon wafer 위에 SiO-Co 여러 다른 혼합비의 target 으로 SiO-Co 혼합물 박막을 준비하였다. SiO : Co target 의 혼합비는 각각 1:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 그리고 0:1 이다.

측정에 사용된 RCSE 는 1)Xe arc lamp 2)polarizer 3)sample 4)MgF₂ compensator 5)analyzer 그리고 6)spectrometer 로 구성되어있다(그림 1). 여기서 분광범위는 1.5 eV ~ 4.5 eV 영역을 포함한다.

4. 실험 결과 및 고찰

SiO-Co 혼합물 박막을 RCSE로 측정하였다 (그림 2). 그림 2에 보이듯이 다른 혼합비에 대한 각각의 분광 ellipsometry angle(Δ , Ψ)을 얻었다. 그 결과로부터 Bruggeman의 effective medium approximation (EMA) 이론(식 6)[10]을 이용하여 SiO-Co 박막의 물성을 찾았다.

$$f \frac{\epsilon_{Co} - \epsilon}{\epsilon_{Co} + 2\epsilon} + (1-f) \frac{\epsilon_{SiO} - \epsilon}{\epsilon_{SiO} + 2\epsilon} = 0 \quad (6)$$

EMA 이론을 이용하여 air/film/c-Si에 대한 박막의 model로 각각 박막의 ellipsometry data값에 대한 simulation을 하였다. 그림 3은 이렇게 simulation한 결과를 보여준다. 이와 같은 방법으로 SiO-Co 혼합 박막들의 물성을 찾았다. 그림 4는 RCSE 측정에 의한 분광 ellipsometry data를 EMA를 이용하여 분석하여 찾은 각각의 혼합물 박막의 광학적 특성인 $\epsilon_1(h\nu)$, $\epsilon_2(h\nu)$ 를 보여주고 있다.

그리고 deep-UV PR에 수백 nm의 선폭이 형성된 시편들을 RCSE로 측정을 하였다. 이 경우 주기적이 peak이 나타나는데 그 중에 첫번째 peak 부분을 그림 5에서 보여 주었다. 먼저 CD-SEM으로 각 시편의 선폭을 측정하였다. 그리고 ellipsometry data에서 보이는 첫번째 peak이 나타나는 파장의 값에 대한 CD-SEM에서 측정한 선폭 값을 그래프로 그려 보았다 (그림 6).

RCSE를 이용하여 이와 같은 시편들을 측정하여 보았을 때 박막의 광학적 성질 및 두께 결정과 반도체 산업에서 선폭 값을 시편의 파괴없이 측정할 수 있었다. 또한 RCSE는 투명 박막에 대해 보통의 rotating polarizer (또는 analyzer)보다 정확한 값을 얻을 수 있으므로 최근 display에서의 ITO 뿐만 아니라 유기 박막에 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Drude, P., Annal. Phys. Chem. **36**, 865 (1889)
- [2] Azzam, R. M. A. and N. M. Bashara, "Ellipsometry and Polarized Light", North Holland, Amsterdam, 1977, 1988
- [3] 안일신 "엘립소메트리", 한양대학교 출판부, 2000
- [4] Collins, R. W. and K. Vedam, "Ellipsometers in Encyclopedia of Applied Physics", Vol. 6, VCH Publishers, Inc. 1993
- [5] Rothen A., Rev. Sci. Instrum., **16**, 26 (1945)
- [6] Collins, R. W. and Y. Kim, "Instrumentation in Analytical Chemistry", Ed. L. Voress, American Chemical Society, Washington, DC 1992

- [7] Drevillon, B. and R. Benferhat, *J. Appl. Phys.* **63**, 5088 (1988)
- [8] An, Hsin, H. V. Nguyen, N. V. Nguyen, and R. W. Collins, *Phys.Rev.Lett.* **65(18)**, 2274-2277, (1990)
- [9] Aspnes, D. E., *Opt. Commun.* **8**, 222 (1973)
- [10] D. A. G. Bruggeman: *Ann. Phys. Leipzig* **24**, 636 (1935)

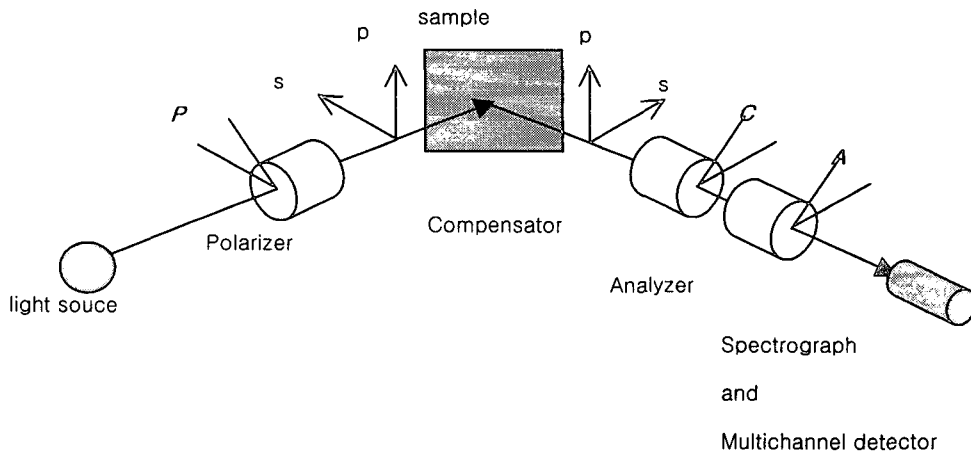


그림1. Rotating compensator spectroscopic ellipsometry의 구성도. P 와 A 는 polarizer와 analyzer의 투과축의 방위각이고, C 는 compensator의 fast axis의 방위각이다. 화살표로 표시된 p 와 s 는 입사면의 평행과 수직 방향을 나타낸다.

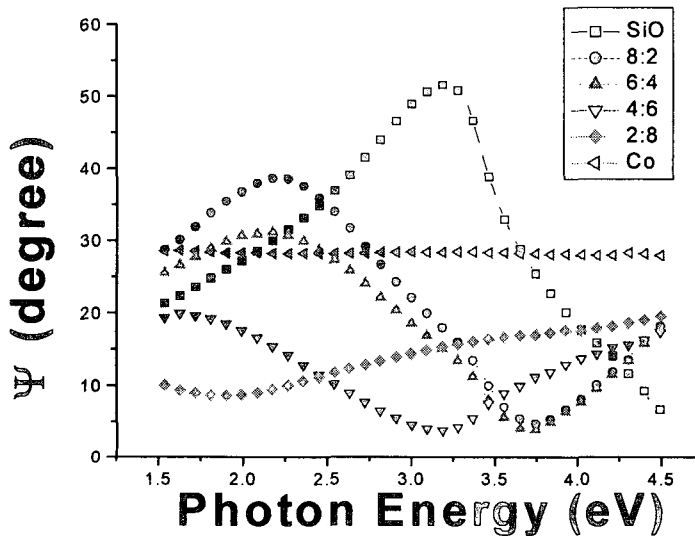
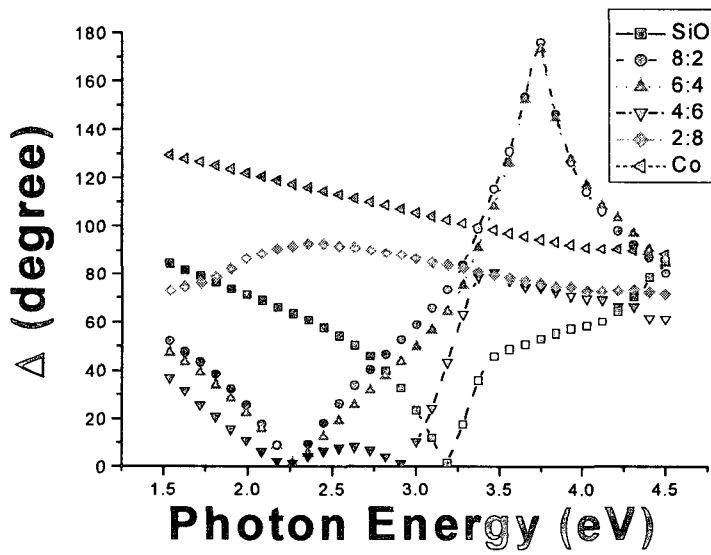


그림 2. 다른 비율의 SiO-Co target으로 증착한 SiO-Co 박막의 ellipsometry angles(Δ , Ψ).

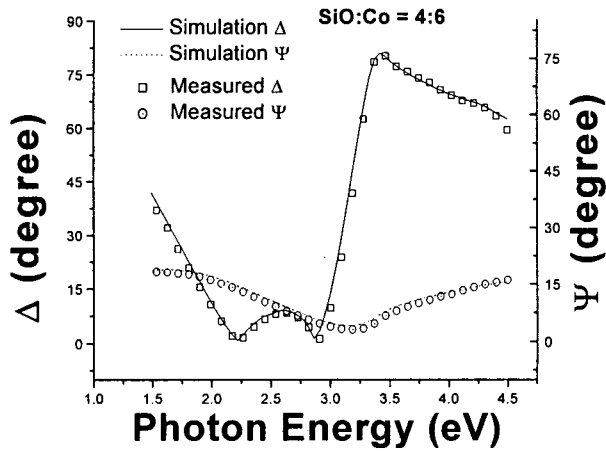


그림3. SiO-Co 혼합물 박막의 측정결과와 simulation 결과.

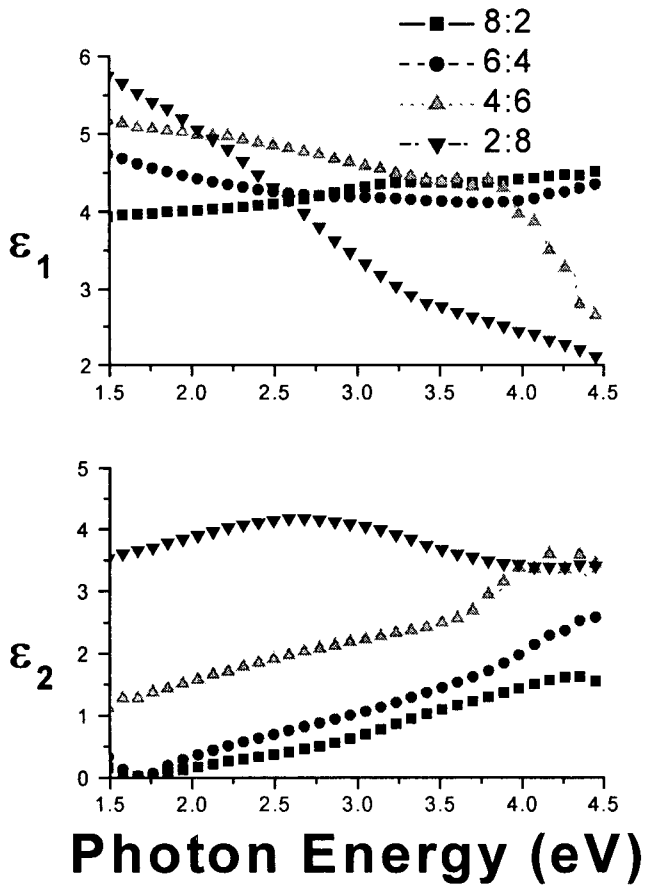


그림4. 다른 비율의 SiO-Co 혼합물 박막의 광학적 물성.

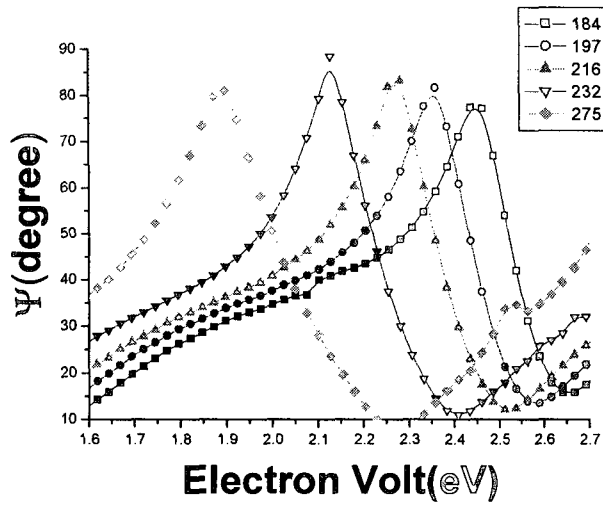


그림5. RCSE로 다른 선폭의 deep-UV PR의 측정결과.

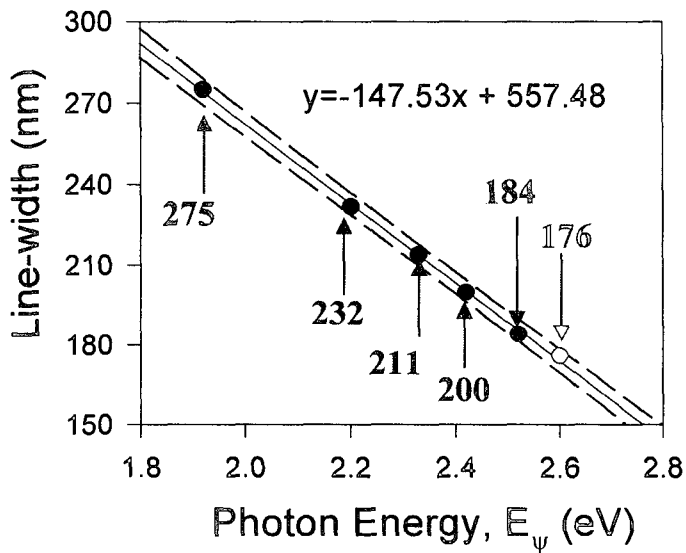


그림6. 측정된 ellipsometry data에서 peak이 나오는 파장의 값과 선폭에 대한 그래프.