실시간 타원계측을 위한 초점형 환상(環狀) 측정 방법

Round Shape Data Acquisition Methods for Real-Time Ellipsometric Measurement

예상헌, 곽윤근, 김수현, 조용재*, 조현모*, 제갈원*

한국과학기술원 기계공학과, *한국표준과학연구원 나노 바이오 융합 연구단

yesheon@paran.com

타원 계측법(ellipsometry)은 빛의 편광 특성을 이용하는 기술로써 입사하는 빛의 편광 상태가 박막의 표면 변화에 민감하게 반응하는 것을 이용하는 기술로써 박막의 두께 및 굴절률을 동시에 측정하는데 가장 보편적으로 사용되는 기술이다. 이런 특징들로 인해 타원 계측기는 초박막 게이트 소자에서부터 복잡한 다층 구조의 박막을 측정하는데 사용되어 오고 있다.[1] 하지만 박막의 적층 구조가 점점 더 복잡해지고 소자의 크기가 작아지면서 기존의 타원 계측기들은 측정 영역에 비해 큰 측정 빔 크기로 인해 그 한계에 직면하고 있다. 높은 측정 정밀도를 가진 타원 계측기가 실제 공정 상에 설치되어 사용되지 못하고 있는 이유는 위에서 언급한 것 외에, 특정 입사각을 지니고 편광된 빛이 시료에 입사하기 때문에 전체 시스템의 크기가 커짐으로써 다점 측정(multi-point measurement)을 위한 빠른 이동이 용이하지 않다는 점, 기계적으로 회전하는 편광 소자들로 인해 측정 시간의 단축에 제약이 있으며, 진동에 의한 신호 잡음 발생 요인이 항상 존재한다는 점들이 걸림돌이 되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 전체 시스템 크기를 줄이고자 초점형 타입의 타원 계측기를 채택하였으며, 대물 렌즈를 이용해 다중 입사각에 대한 타원계측 상수를 측정하고자 한다. 또한 새로운 실시간 타원 계측 알고리즘을 제안하여 그 가능성을 진단해 보고자 한다.

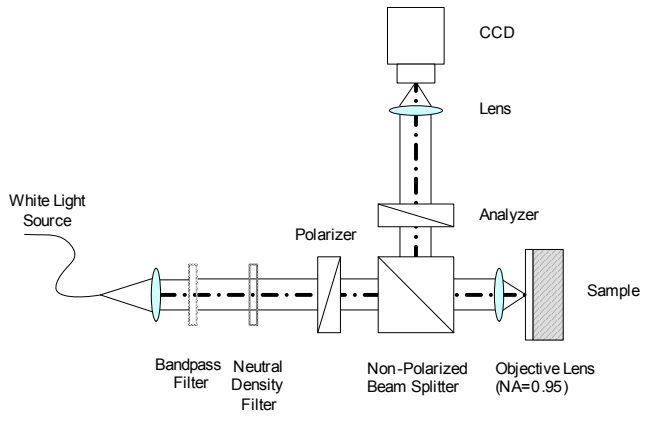
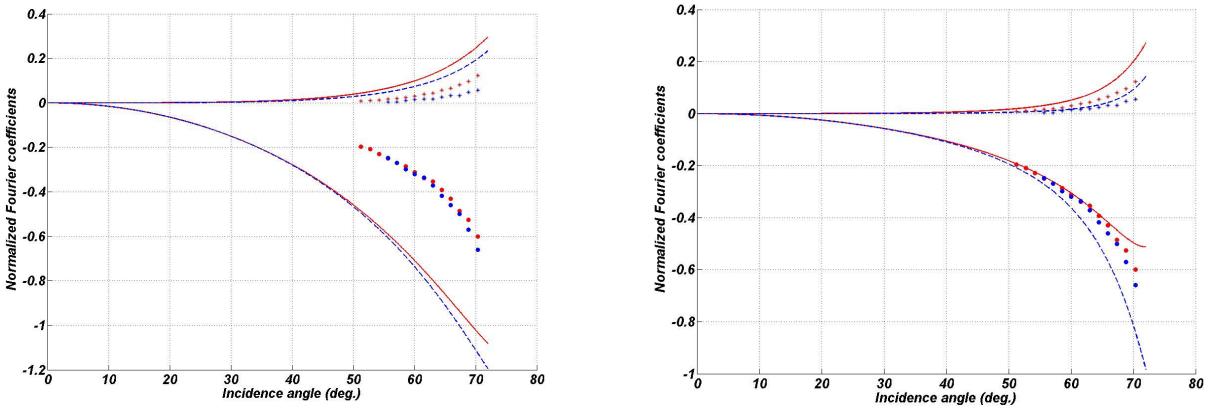


Figure 1. Schematic diagram of focused-beam ellipsometer for real-time data acquisition

그림 1에서 편광자를 통과한 선형 편광된 빛은 대물 렌즈를 투과하게 되는데, 대물 렌즈에 의해 시료에 초점이 맺히면서 평행하게 입사한 빛들은 서로 다른 입사각을 지니면서 시료에 입사하게 된다. 또한, 대물 렌즈를 투과하는 위치에 따라 입사면이 서로 다르게 정의되므로 편광 성분이 변화되어 시료에 입사하게 된다. 시료에서 반사되어 나온 빛은 검광자를 통과하여 광 검출기인 CCD에 맺히게 된다.

이때 이미지 렌즈는 대물 렌즈의 출사동(exit pupil)을 이미지하도록 초점거리를 조절하여야 하는데, 이는 시료에서 반응하고 나온 빛들이 최대한의 광량을 나타내며, 가장 선명한 이미지를 얻을 수 있기 때문이다. 이러한 이미징은 편광 현미경(polarization microscopy)에서 결정의 복굴절 타원체를 규명하거나 그 광축을 측정하고자 할 때 사용하던 기법이다.[2]

이러한 하드웨어 구성을 통하여 다중 입사각에 대해 정규화된 Fourier 계수를 측정하여 그림 2에 도식하였다. 실험으로 구한 데이터는 점으로 표시하였으며 이론 값은 실선으로 나타내었다. 양수 부분은 정규화된 Fourier 계수 α_4', 음수 부분은 α_2'을 각각 의미한다. 그 중에서 붉은 색(실선)으로 나타낸 이론값과 실험값은 SiO_2(n=1.460)가 두께 32.87 nm로 Si substrate 위에 도포된 시료를, 파란 색(점선)은 2.08 nm가 도포된 시료를 각각 표시하고 있다. 그림 2(a)에서 입사각이 커짐에 따라 두 시료의 Fourier 계수의 차이가 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 substrate의 pseudo-Brewster 각이 70° 이상에 존재하기 때문인데, 이는 입사각을 Pseudo-Brewster 각으로 선정하여 측정을 하게 되면 substrate에서 반사되어 나오는 p-파의 영향이 줄어들기 때문에 매우 높은 민감도를 가지고 타원 계측을 할 수 있기 때문이다.



(a) (b)

Figure 2. Normalized Fourier coefficients α_2' (under dots), α_4' (upper dots) obtained experiments and simulated α_2' (under lines), α_4' (upper lines) in which sample is Air / SiO_2(n=1.460, t=32.87 nm[solid red line], t=2.08 nm[dotted blue line]) / Si(n=3.875-j0.0156). (a) before calibration, (b) after transmittance difference calibration between p-/s-wave in the microscope lens.

그림 2(a)의 실험값과 이론값이 많은 차이가 나고 있는데, 이는 대물 렌즈와 CCD 앞 단에 위치한 이미지 렌즈를 투과하는 빛이 p-/s-파에 따라 투과율이 다르기 때문이다. 대물 렌즈 내부에는 여러 개의 렌즈가 중첩되어 있으며 그 내부 구조를 명확히 알 수 없기 때문에 렌즈의 한 면에 대한 p-/s-파에 대한 투과율을 구하고, 이 투과율을 여러 번 곱하여 이론값이 실험값에 최대한 일치하도록 조절하였다. 이 효과를 고려하여 보정한 것을 그림 2(b)에 도시하였다. 차후 좀 더 자세한 보정 과정과 beam splitter에 의한 편광의 영향을 고려하여야 할 것이다.

1. M. A. Azzam, N. M. Bashara, "Ellipsometry and polarized light," North-Holland, (1997).
2. Wei-Hung Yeh, "Polarization microscopy of magnetic domains for magneto-optical disks", Appl.Opt., 38, 3749-3758, (1999)