

실시간 광학 특성 측정을 위한 초점형 타원계측기술

Focused Beam Ellipsometry: In-line Characterization of Thin Film Optical Properties

예상현, 광운근, 김수현, 조현모*, 조용재*, 제갈원*
 한국과학기술원, *한국표준과학연구원
 yesheon@paran.com

대부분의 물리, 화학, 재료 분야의 연구에 있어서 물질의 광학적 특성을 측정하고 박막의 두께를 측정하는 것은 매우 중요한 요소이다. 특히 최근의 반도체 제조 산업에서 게이트 산화막(gate oxide film)과 같이 반도체 제조 공정에서 사용되는 유전체 박막(dielectric film)의 두께는 수 μm 에서 수 nm에 이르기까지 다양할 뿐만 아니라 매우 얇아지고 있으며, 또한 이러한 박막들이 다층(multi layer)으로 복잡하게 적층되는 추세이다. 또한 디스플레이 산업에서는 각 공정에서 사용되는 PR(Photoresist), ITO(Indium Tin Oxide) 그리고, 게이트 산화막 등의 두께와 광학적 특성을 정의하고 이를 조절하는 일은 제품의 수율과 성능향상 면에서 매우 중요한 일이라 할 수 있다.⁽¹⁾

실제 공정상에서 사용되는 계측기기로는 박막의 상단에서 반사되어 나온 빛과 박막을 투과하고 난 뒤 박막 하단에 위치한 물질의 표면에서 반사되어 나오는 빛의 간섭현상을 이용하여 박막의 두께를 측정하는 분산형 백색광 간섭계(dispersive white-light interferometry)가 대표적으로 사용되고 있다.⁽²⁾ 이러한 방법은 박막의 두께만을 측정할 수 있으며, 각 증착 공정 변수의 변화에 따른 박막의 굴절률(refractive index)과 같은 광 특성을 측정하지 못하는 단점을 지니고 있다. 또한 두께는 박막의 굴절률과 밀접한 관계를 지니고 있으므로, 굴절률의 정확한 측정없이 박막의 두께만을 추출할 경우 에러를 유발하게 된다. 따라서 박막의 두께 및 굴절률을 동시에 측정 가능한 광학 측정 기술이 요구되고 있다.

여러 가지 광 측정 기술 중에서 타원계측기술(ellipsometry)은 빛의 편광 성질을 이용하는 기술로써 입사하는 빛의 편광 상태가 박막의 표면 변화에 민감하게 반응하는 것을 이용하는 기술로써 박막의 두께 및 굴절률을 동시에 측정하는 가장 보편적으로 사용되는 기술이다.⁽³⁾ 하지만 적층 구조가 점점 더 복잡해지고 크기가 작아지면서 기존의 타원계측기들은 측정 영역에 비해 큰 빔 크기(beam size)를 가지고 있으며, 기계적으로 회전하는 편광 소자를 이용하기 때문에 측정 시간의 단축에 제약이 있고 진동에 의한 신호잡음 발생요인이 항상 존재하게 된다.

그러므로 본 논문에서는 기존 시스템의 전체 레이아웃을 유지하면서 박막의 두께 및 굴절률을 측정할 수 있는 새로운 형태의 타원계측기를 제안하고자 한다. 그림 1(a)에서는 대물렌즈의 개구수(NA)에 의해 결정되는 입사광의 입사각을 도식한 그림이다. (A)지점으로 입사한 빛은 입사각이 0° 이고 (B)지점으로 입사한 빛은 대물렌즈의 NA에 의해 결정되는 최대 입사각을 지니고 입사하게 된다. 대물렌즈의 NA가 커지게 되면 초점거리는 짧아지지만, $NA = \sin\theta$ 의 관계로 인해 입사각은 커지는 효과를 얻을 수

있다. 이론적으로 $NA=0.95$ 인 경우 입사광은 71.8° 의 최대 입사각으로 입사를 하게 된다. 입사각이 커야 좋은 이유는 유리와 같은 유전체 물질(dielectric material)의 경우 Brewster's angle이 56° , 금속 물질의 경우 pseudo-Brewster angle이 71° 근처에서 나타나는데 이 영역의 입사각에서 측정을 하는 것이 측정오차가 줄어들기 때문에 다양한 재료의 박막 물성치를 측정하기 위해서는 입사각이 큰 것이 유리하기 때문이다.

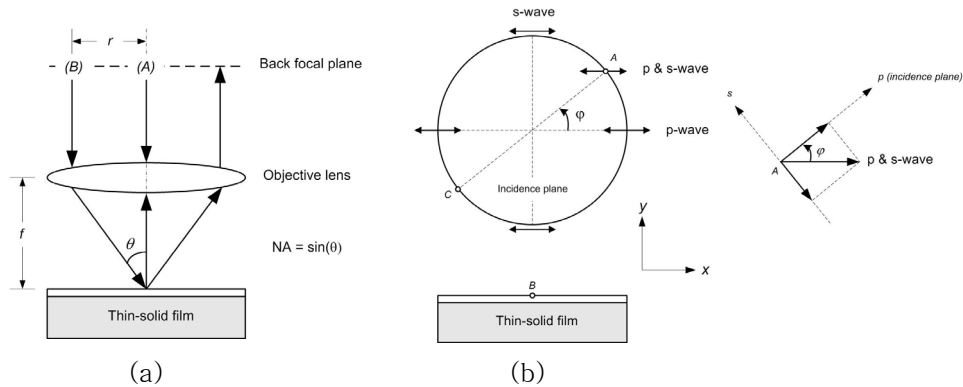


그림 1. (a) 대물렌즈에 입사하는 빛의 광 경로에 따른 입사각의 변화 (b) 대물렌즈에 의해 입사하는 광의 편광 상태 변화를 나타낸 도식도

그림 1(b)는 x축 방향으로 고정된 편광자를 투과한 빛이 대물렌즈를 투과하고 난 뒤의 편광 상태를 나타내고 있다. 모두 x축 방향으로 편광된 빛이 입사를 하고 있지만, 대물렌즈에 의해 입사면이 회전하는 효과로 인해 그림1(b)에서 A점을 지나가는 빛은 p-파와 s-파가 혼합된 편광 상태로 시료의 B점에 입사하여 C점을 통해 광검출기로 들어가게 된다. 그러므로 편광 소자를 회전시키는 기계적인 부분이 없이 대물렌즈에 의해 이를 대신할 수 있게 된다. 시료에 반사되어 나온 빛을 일정 입사각(θ)을 이루는 원을 따라 방위각(φ)을 변화 시키면서 신호를 검출하게 되면 사인형태의 신호(sinusoidal signal)를 얻게 되어 이를 푸리에 변환(Fourier transform)을 하게 되면 타원계측각 ψ, Δ 를 얻을 수 있게 된다. 입사각을 이루는 원을 어떻게 선정하는가에 따라 여러 입사각에 대한 타원계측각을 구할 수 있기 때문에 단파장 입사각 가변형 타원계측기와 동일한 성능을 기대할 수 있다. 또한, 기계적 회전부가 존재하지 않기 때문에 실시간 공정 모니터링용으로 적합한 형태라고 할 수 있다.

*. 본 연구는 나노메카트로닉스기술사업단의 지원으로 진행되었으며, 이에 관계자분께 감사의 말씀을 드립니다.

1. 제갈원, "단축 결상 분광기를 이용한 분광 결상 타원계측기", 한국과학기술원 기계공학과 박사 학위 논문 (2003).
2. 김영식, 유준호, 김승우, "분산형 백색광 간섭계를 이용한 박막 두께 측정", 한국광학회 2005년도 하계학술발표회, 24-25 (2005)
3. P.S. Hauge, "Recent development in instrumentation in ellipsometry", Surface Science 96, 108-140 (1980)