

분산형 백색광 간섭계를 이용한 미세 박막 구조물의 삼차원 두께 형상 및 굴절률의 실시간 측정.

김영식*, 김승우(한국과학기술원)

Dispersive White-light Interferometry for *in-situ* Volumetric Thickness Profile of Thin-film Layers and a refractive index.

Y. S. Ghim, S. W. Kim (Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

We present a dispersive scheme of white-light interferometry that enables not only to perform tomographical measurements of thin-film layers but also to measure a refractive index without mechanical depth scanning. The interferometry is found useful particularly for *in-situ* 3-D inspection of micro-engineered surfaces such as liquid crystal displays, semi-conductor and MEMS structure, which requires for high-speed implementation of 3-D surface metrology.

Key Words: dispersive white-light interferometry (분산형 백색광 간섭계), volumetric thickness profile of thin-film layers(삼차원 박막 두께 형상), refractive index(굴절률)

1. 서론

백색광주사간섭계는 빠르게 성장하고 있는 광통신과 TFT-LCD 등의 디스플레이 그리고, 반도체 산업에 이르기까지 산업 전반에 걸쳐 삼차원 측정 도구로 널리 이용되고 있다. 특히, TFT-LCD 시장이 급속도로 발전함에 따라 cell gap 을 일정하게 유지시켜 주는 column spacer(or photo spacer)의 삼차원 측정이 평판 디스플레이 산업에서 크게 요구되고 있는 실정이다. 백색광주사간섭계는 광범위한 주파수 영역으로 인해 가간섭거리가 수 μm 로 짧을 뿐만 아니라 2π 모호성으로부터 자유롭기 때문에 수 mm 의 상대적으로 큰 단차도 나노미터 이하의 수직분해능으로 측정을 할 수 있어 최근 초정밀 형상 측정분야에서 각광을 받고 있다. 하지만 측정 범위가 다중 반사가 일어나지 않는 불투명 물체에 한 정된다는 단점을 갖고 있다. CMP 공정 후의 투명한 표면 형상을 백색광주사간섭계로 측정을 하게 되면 이중 간섭무늬로 인해 심각한 측정 오차가 발생한다. 그래서 최근에는 이러한 백색광 간섭계의 단점을 해결하고자 많은 연구가 진행되어 새로운 방법들이 제시되고 있다.^[1,2] 하지만 이들 방법들 역시 측정시간이 너무 오래 걸리는 단점으로 인해 효과적으로 투명한 물체의 형상을 측정하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 분산형 백색광 간섭계의 개념을 도입하여 기존의 방법들이 갖고 있는 느린 측정 속도를 개선하고 효과적으로 박막 구조물의 두께 형상과 굴절률까지 실시간으로 측정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 기본 이론

분산형 백색광 간섭계에 대한 연구는 1994 년 J. Schwider 와 Liang Zhou 가 four-step grating 에 대한 윤곽을 측정한 이래, 1996 년 U. Schnell^[3]에 의한 다층 박막에 대한 표면 형상과 두께 측정이 보고 되는 등 연구가 활발히 진행되고 있다. 분산형 백색광 간섭계는 기존의 광 간섭계와 달리 별도의 기계 이송부 없이 간섭광의 스펙트럼만을 분석하기 때문에 실시간 측정이 가능하고 외부 진동에 강인하게 된다.

다층 박막에서의 간섭 광은 식 1 과 같이 일반적으로 표현될 수 있다.

$$I_{tot}(\nu) = I_{rr}(\nu) + \sum_n I_{nn}(\nu) + \sum_n I_{nr}(\nu) \cos(2\pi\nu\tau_{nr}) + \sum_n \alpha_n I_{nr}(\nu) \cos(2\pi\nu(\tau_{nr} + \delta_n)) + \sum_{n \neq m} I_{nm}(\nu) \cos(2\pi\nu\tau_{nm}) + \sum_{n \neq m} \alpha_n I_{nm}(\nu) \cos(2\pi\nu(\tau_{nm} + \delta_n))$$

식 1

이때, ν 는 주파수, τ_m 은 시간 지연으로 $2nL_m/c$ 로 표현되고 n 은 굴절률, L_m 은 광 경로차, c 는 진공 중에서의 빛의 속도, 첨자 r 과 n (or m)은 기준면과 박막 층에서의 layer 경계면, 그리고 α 와 δ 는 각 layer에서의 다중 반사에 의한 진폭 감쇄 비와 시간 지연을 나타낸다. 따라서, 식 1 에 나타난 각 성분들을 효과적으로 분리해 내면 측정 시편의 두께 형상을 얻을 수 있게 되는 것이다.

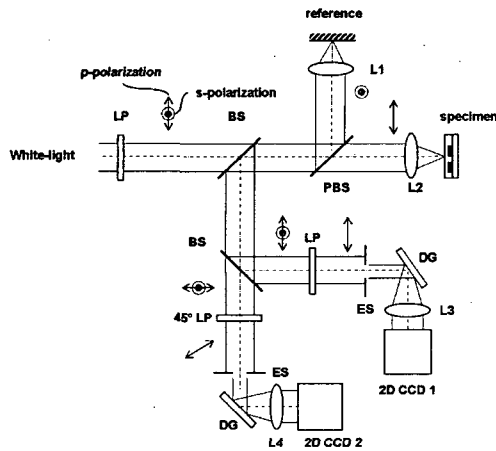


Fig. 1 Optical configuration of dispersive white-light interferometry; LP: Linear polarizer, BS: Beam Splitter, PBS: Polarizing Beam Splitter, L1-L4: lenses, ES: Entrance Slit, DG: Dispersive Grating.

Fig. 1 은 박막 구조물의 두께와 형상을 동시에 측정하도록 구성된 분산형 백색광 간섭계의 개념도이다. 박막의 두께와 형상을 동시에 측정하기 위해 편광 광 분할기를 이용한 마이켈슨 구조의 간섭계가 적용되었고, 별도의 2 개의 CCD 와 회절격자를 사용해 두께와 형상을 독립적으로 분리해 측정하도록 하였다. 2D CCD1 에서는 박막의 윗면과 아랫면에서 반사되어 나온 자체 간섭 무늬를 분광시켜 박막 두께만을 측정하고 2D CCD2 에서는 기준 면과 측정 면이 서로 간섭된 합성 간섭 광을 분광시켜 측정 면의 형상을 측정하였다. 따라서 2D CCD1 과 2D CCD2 에서의 신호를 분석하게 되면 측정 물체의 두께 형상뿐만 아니라 굴절률까지 실시간으로 측정할 수가 있다.

3. 측정 결과

본 논문에서 제안한 분산형 백색광 간섭계를 이용하여 다양한 형태의 미세 박막구조물을 측정해 보았다. 결과는 Fig. 2 와 Fig. 3 과 같다.

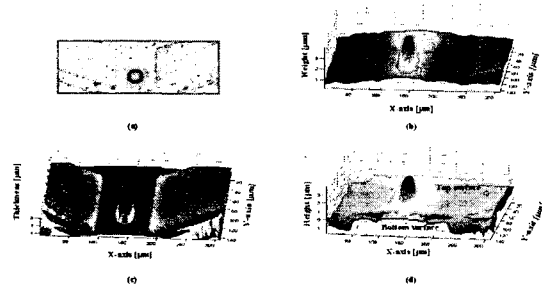


Fig. 2 Measuring results of color filter; (a) 2-D view of the

measuring target object, (b) top surface profile, (c) thickness profile, (d) tomographical thickness profile

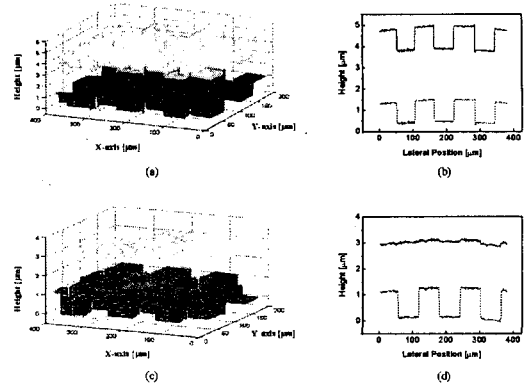


Fig. 3 Measurement results of samples; (a) volumetric thickness profile of target object before CMP process, (b) sectional profile of (a), (c) volumetric thickness profile of target object after CMP process, (d) sectional profile of (c)

4. 결론

본 논문에서는 박막의 두께 형상을 실시간으로 측정할 수 있는 편광을 이용한 마이켈슨 간섭계 구조의 분산형 백색광 간섭계를 제안하고 기초 실험을 수행 하였다. 그 결과 다양한 형상을 가진 박막 구조물의 두께 형상을 효과적으로 빠르게 측정함을 확인하였다. 뿐만 아니라 본 방법은 별도의 이송장치 없이 분광 측정법을 사용해 측정하기 때문에 외부 진동에 강인하여 향후 TFT-LCD 등의 평판 디스플레이와 반도체 산업 등에서 요구하고 있는 다층 박막두께 형상 측정이 가능해, 향후 차세대 측정 기술로 부각 받으리라 예상된다.

참고문헌

1. S.W. Kim, G.H. Kim, "Thickness-profile measurement of transparent thin-film layers by white-light scanning Interferometry," *Applied Optics*, 38(28). P.5968-5973(1999)
2. D. Kim, S. Kim, H.J. Kong, Y. Lee, "Measurement of the thickness profile of a transparent thin-film deposited upon a pattern structure with an acousto-optic tunable filter," *Optics Letters*, 27(21), p. 1893-1895 (2002)
3. U. Schnell, R. Dändliker, S. Gray, "Dispersive white-light Interferometry for absolute distance measurement with dielectric multilayer systems on the target," *Optics Letters*, 21(7), pp.528-530(1996)