

분산형 백색광 간섭계를 이용한 박막 두께 측정

Dispersive White-light Interferometry for Thin-film Thickness Measurement

김영식, 유준호, 김승우*
 *한국과학기술원 기계공학과
 swk@kaist.ac.kr

본 연구는 분산형 백색광 간섭계^[1-4]의 개념을 도입하여 투명 박막이나 LCD의 칼라 필터의 두께를 빠른 속도로 측정을 하여 LCD나 PDP 같은 각종 디스플레이를 코팅하고 있는 과정에서 대두되고 있는 박막 두께의 비균일성을 사전에 미리 파악해 조기에 불량품을 발견함으로써, 공정 경비를 절감하는 효과를 가져온다. 분산형 백색광 간섭계는 기존의 광 간섭계와는 달리 별도의 이송 장치를 사용하지 않고, 광의 스펙트럼만을 분석하기 때문에 외부 진동에 강인하고 실시간 측정이 가능하게 된다. 단층의 박막이 아래 그림 1과 같이 기저층위에 도포될 경우, 입사광은 박막의 상층부(대기층과 박막의 경계면)와 하층부(박막과 기저층의 경계면)에서 각각 반사되어 반사광을 형성하게 된다.

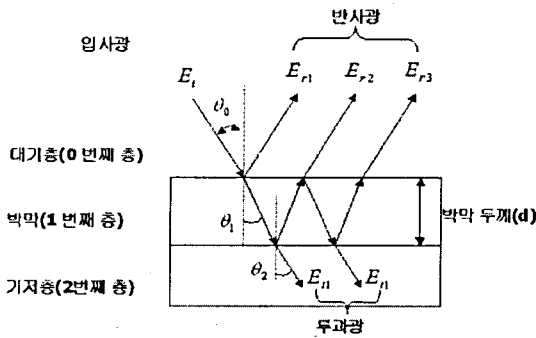


그림 1. 박막에 대한 입사광, 반사광, 투과광.

여기서, r_{ij}, t_{ij} 는 각각 i, j 층에서 Fresnel 반사계수, 투과 계수를 의미하고, β 는 두께 d 인 박막 내부를 진행하는 광이 겪는 위상 변화량으로 $\beta = 2knd \cos \theta$ 로 표시된다. 또한 박막이 가역적이면, 즉 실수 값의 굴절률을 가지면 $r_{01} = -r_{10}, t_{01}t_{10} = 1 - r_{01}^2$ 의 관계를 적용할 수 있으므로 식 2를 식 1에 적용하여 간단히 정리하면 식 3과 같다.

$$I = \left(r_{01}^2 + \frac{a^2}{1-b^2} \right) + 2a \left(r_{01} + ab \frac{1}{1-b^2} \right) \cos \beta + 2ab \left(r_{01} + ab \frac{1}{1-b^2} \right) \cos 2\beta + \dots + 2ab^{n-1} \left(r_{01} + ab \frac{1}{1-b^2} \right) \cos n\beta \tag{식 3}$$

수학식 3을 보면 반사광에 박막의 두께를 담고 있는 β 가 \cos 함수의 반복적인 주파수 성분으로 실려 있음을 알 수 있다. 따라서 이를 적절한 필터링 과정을 거쳐 $\cos 2\beta$ 이상의 고주파 성분을 제거하면 식 4와 같이 일반적인 분산형 백색광 간섭계의 식으로 표현할 수 있다.

$$S(\nu) = A(\nu) + B(\nu) \cos \Phi(\nu) \tag{식 4}$$

여기서, $A(\nu) = r_{01}^2 + \frac{a^2}{1-b^2}, B(\nu) = 2a \left(r_{01} + ab \frac{1}{1-b^2} \right), \Phi(\nu) = \beta$ 가 된다.

이때, 반사광의 간섭 무늬는 식 1과 같이 표현된다.

$$I = (E_{r1} + E_{r2} + E_{r3} + \dots)(E_{r1} + E_{r2} + E_{r3} + \dots) \tag{식 1}$$

이때, $E_{r1}, E_{r2}, E_{r3}, \dots$ 의 수학식은 식 2와 같다.

$$\begin{aligned} E_{r1} &= r_{01} E_i \\ E_{r2} &= t_{01} r_{12} t_{10} e^{-\beta} E_i \\ E_{r3} &= t_{01} r_{12} t_{10} r_{10} r_{12} e^{-2\beta} E_i \\ E_{r4} &= t_{01} r_{12} t_{10} (r_{01} r_{12})^2 e^{-3\beta} E_i \\ &\vdots \\ E_{rn} &= t_{01} r_{12} t_{10} (r_{01} r_{12})^{n-2} e^{-(n-1)\beta} E_i \end{aligned} \tag{식 2}$$

식 4에서 위상 정보인 $\Phi(\nu) = 2knd\cos\theta = \frac{4\pi nd\cos\theta}{c} \nu$ 로 주어지기 때문에 박막 두께 d 는 식 5와 같이 구할 수 있다. 여기서, ν 는 주파수, c 는 빛 속도, n 은 박막의 굴절률을 나타낸다.

$$d = \frac{c}{4\pi n \cos\theta} \frac{d\Phi}{d\nu} \tag{식 5}$$

따라서, 식 4로부터 위상정보인 $\Phi(\nu)$ 를 뽑아내어 식 5를 이용하면 투명 박막의 두께를 손쉽게 구할 수 있게 된다. 본 시스템의 구성도는 그림 2와 같이 간략히 나타낼 수 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이 광원으로는 400~700nm의 광대역폭의 백색광을 사용하고, 이를 측정 시편인 박막에 조사를 한다. 박막에 입사된 광은 박막의 상층부와 하층부에서 각각 반사되어 간섭 신호를 형성하고 이를 분광기에서 주파수 별로 분석을 하면 그림 3과 같은 신호를 얻는다.

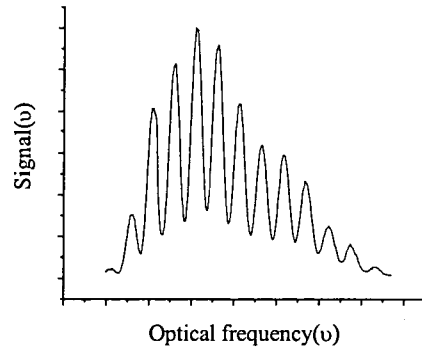
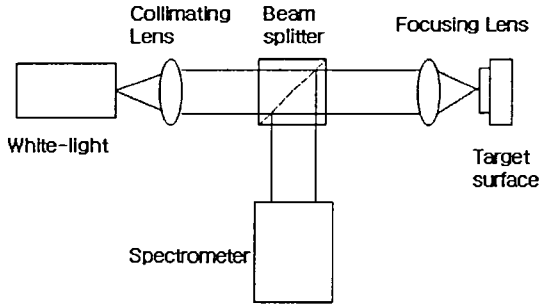


그림 2. 분산형 백색광 간섭계의 구성도

그림 3. 분산형 백색광 간섭계의 일반적인 신호

칼라 필터를 측정 시편으로 삼았을 경우 얻게 되는 간섭무늬는 그림 4~6과 같다.

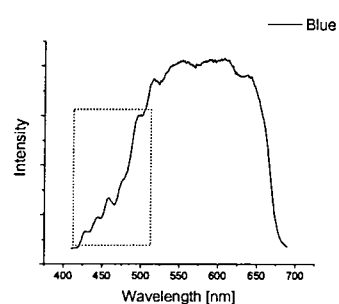
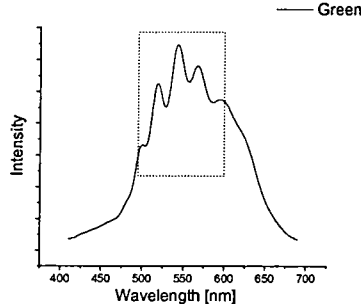
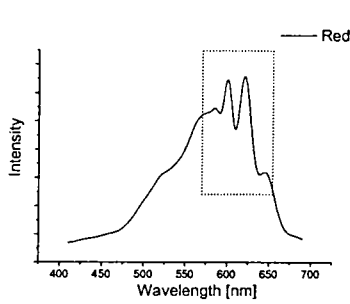


그림 4. 빨간색 필터의 간섭 신호

그림 5. 녹색 필터의 간섭 신호

그림 6. 청색 필터의 간섭 신호

이때, 각 칼라 필터마다 반응하는 파장 대역은 위의 그림과 같이 틀리기 때문에 이를 고려하여 식 5를 이용하면 쉽게 박막의 두께를 계산할 수 있다. 본 논문에서 제시한 분산형 백색광 간섭계는 향후 LCD나 PDP의 평판 디스플레이에서 요구되고 있는 박막 두께 측정에서 차세대 기술로 떠오르라 생각된다.

참고문헌

- [1] J. Schwider and Liang Zhou, "Dispersive interferometric profilometer", Opt. Lett. 19(13), p. 995-997(1994)
- [2] U. Schell, E. Zimmermann and R. Dandliker, "Absolute distance measurement with synchronously sampled white-light channelled spectrum interferometry," Pure Appl. Opt. 4(5), p. 643-651(1995)
- [3] U. Schell and R. Dandliker, "Dispersive white-light interferometry for absolute distance measurement with dielectric multilayer systems on the target," Opt. Lett. 21(7), p.528-530(1996)
- [4] Santiago Costantino, Oscar E. Martinez Jorge R. Torga, "Wide band interferometry for thickness measurement," Optics Express, 11(8), p. 952-957 (2003)