

타원편광계를 이용한 스퍼터링으로 증착되는 다층 박막의 실시간 두께 조절

Thickness control of multilayer thin film deposition by *in-situ* ellipsometer

이재홍*, 김성화, 황보창권

인하대학교 물리학과, hwangbo@inha.ac.kr

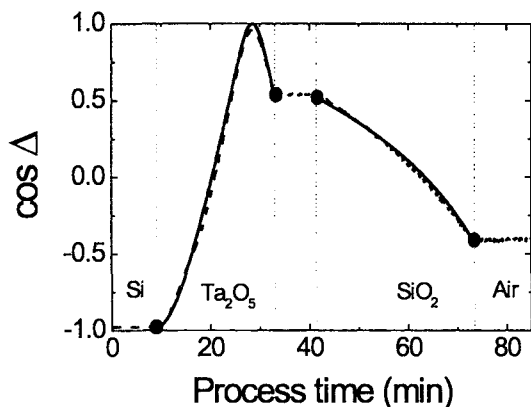
진공 증착장비에서 다층박막으로 구성된 광학필터를 증착할 경우, 증착되는 동안 설계된 최종 광학 필터의 성능을 구현하기 위해서는 실시간으로 각각의 층들에 대한 굴절률(n)과 물리적 두께(d)를 제어하거나 또는 광학적 두께(nd)를 제어해야 한다. 광학적 두께를 제어하는 대표적인 예로 광모니터링 방법이 있는데, 증착되는 기판에 직접 빛을 입사시켜 기판에서 반사된 빛이나 투과된 빛의 세기를 측정하여 증착과정을 제어하는 방법이다. 최근에는 실시간 타원편광계나 실시간 분광 타원편광계를 적용하고 있는데, 실시간 타원편광계를 이용한 방법은 증착되는 동안 박막의 굴절률과 두께의 변화를 쉽게 알 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다^(1,2). 본 연구에서는 Ta_2O_5 와 SiO_2 박막을 사용하여 유리 기판에 대한 파장 550 nm에서 비반사 코팅을 설계하여 반응이온 마그네트론 스퍼터링으로 비반사 코팅을 제작하였다. 여기서 증착되는 박막들의 두께는 실시간 타원편광계를 이용하여 제어하였고 그 결과를 보였다.

광원으로 파장 632.6 nm의 He-Ne 레이저를 사용하는 실시간 타원편광계는 검광자를 회전시키는 타원편광계(rotating-analyzer ellipsometer; RAE)이며, 진공 증착장비에 부착하여 개인용 컴퓨터를 통해 측정되는 타원상수인 $\cos\Delta$ 와 $\tan\psi$ 를 수집하고 이 값으로부터 박막의 굴절률과 두께를 분석하였다. McCrackin 방법⁽³⁾을 이용하여 측정된 타원상수로부터 증착된 박막의 굴절률과 두께의 결정하였다. 여기서 증착된 Ta_2O_5 와 SiO_2 박막의 굴절률은 두께에 대해서 균일한 박막으로 가정하며, 박막의 소멸계수는 무시하였다. 타원편광계를 이용하여 얻은 Ta_2O_5 와 SiO_2 단층 박막에 대한 굴절률은 분광광도계에서 측정된 스펙트럼(반사율과 투과율)을 이용하여 포락선 방법으로 구한 굴절률과 비교하였다. 파장 632.8 nm에서 포락선 방법으로 구한 굴절률은 타원편광계에서 결정된 굴절률보다 작게 나왔다.

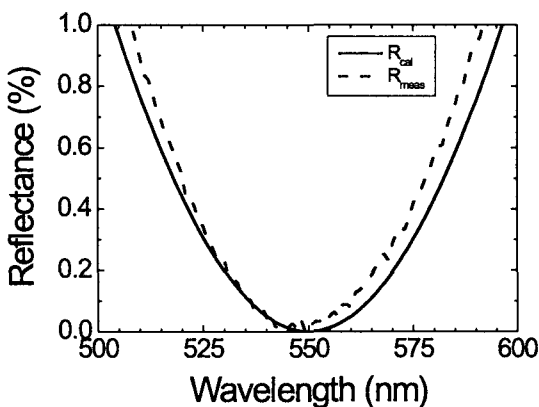
$\lambda_0=550$ nm에서 유리 기판에 대한 2층 비반사 코팅은 [유리 | Ta_2O_5 | SiO_2 | 공기]의 구조로 설계하였다. 여기서 Ta_2O_5 와 SiO_2 박막의 굴절률은 2.16과 1.46이다. Ta_2O_5 와 SiO_2 박막의 두께는 어드미턴스 다이어그램을 이용하여 결정하였는데⁽⁴⁾, (Ta_2O_5 , SiO_2)의 광학적 두께는 각각 $(0.42\lambda_0, 0.18\lambda_0)$ 와 $(0.08\lambda_0, 0.32\lambda_0)$ 이며, 본 연구에서는 $(0.42\lambda_0, 0.18\lambda_0)$ 의 광학적 두께를 선택하였다. 또한 실리콘 기판위에 Ta_2O_5 와 SiO_2 박막의 두 층이 증착될 경우에 대한 $\cos\Delta$ 와 $\tan\psi$ 의 변화를 계산하였고 최종 두께의 $\cos\Delta$ 와 $\tan\psi$ 를 결정하였다. 여기서 박막의 두께에 민감한 타원상수는 반사계수의 위상 정보가 들어 있는 $\cos\Delta$ 값이기 때문에, 증착할 때에는 $\cos\Delta$ 의 거동으로 제어하였다. 그림 1은 증착하는 동안 실시간으로 측정된 $\cos\Delta$ 의 거동을 보여주고 있다. 점선은 실시간으로 측정된 $\cos\Delta$ 이며, 실선은 계산된 $\cos\Delta$ 이다. 까만 점들은 Ta_2O_5 와 SiO_2 박막의 증착에 대한 시작점과 종료점을 나타낸다. 그림 2는 파장 550 nm에서 비반사 코팅된 기판의 반사율을 보여주고 있다. 여기서 실선은 계산된 반사율이며, 점선은 측정된 반사율을 나타낸다. 최소 반사율을 갖는 파장이 짧은 파장쪽으로 약 2 nm 이동되었는데, 증착된 박막의 실제

두께가 설계된 두께에 비해 약 4~5Å 정도 얇게 증착되었기 때문이다.

이상의 결과로부터 마그네트론 스퍼터링으로 유전체 다층 박막을 증착할 때, 단층박막의 굴절률에 대한 정보로부터 미리 계산된 타원상수들($\cos\Delta$ 와 $\tan\psi$)을 이용하여 증착 종료점으로 조절하면, 다층박막의 두께 제어가 가능함을 볼 수 있다. 실시간 타원편광계를 사용하여 유전체 다층 박막의 두께를 제어하기 위해서는 진공 증착장비에서 일어나는 진동이나 증착과정 중에 발생하는 임의의 광원, 또는 접지와 같은 전기적 안정성 등 타원상수 측정에 대한 노이즈의 원인이 되는 것을 제거해 주어야 한다.



[그림 1] 2층 비반사코팅에 대한 실시간 타원 편광계로 측정된 $\cos\Delta$ 의 거동. 여기서, 실선은 계산된 $\cos\Delta$ 를 나타내고 점선은 측정된 $\cos\Delta$ 를 나타낸다.



[그림 2] 2층 비반사 코팅의 반사율 곡선. 여기서 실선은 계산된 반사율이고, 점선은 측정된 반사율이다.

참고문헌

- [1] M. Kildemo, S. Deniau, P. Bulkin, and B. Drévuillon, "Real time control of the growth of silicon alloy multilayers by multiwavelength ellipsometry," Thin Solid Films, vol. 290-291, pp. 46-50, 1996.
- [2] T. Heitz, A. Hofrichter, P. Bulkin, and B. Drevillon, "Real time control of plasmas deposited optical filters by multiwavelength ellipsometry," J. Vac. Sci. Technol. A, vol. 18(4), pp. 1303-1307, 2000.
- [3] R. L. McCrackin, E. Passaglia, R. R. Stromberg, and H. L. Steinberg, "Measurement of the Thickness and Refractive Index of Very Thin Films and the Optical Properties of Surfaces by Ellipsometry," J. Res. Nat. Bur. Standard - A. Physics and Chemistry, vol. 67A(4), pp. 363-377, 1963.
- [4] 황보창권, "박막광학", 다성출판사, 서울, pp. 57-65, 2001.