

플라즈마 이온 보조 증착법을 이용한 $\text{TiO}_2/\text{MgF}_2$ 다층 박막의 광학적 물리적 특성 개선

Improvement of Optical and Structural Properties for $\text{TiO}_2/\text{MgF}_2$ Multilayer Using the Plasma Ion-Assisted Deposition

우석훈*, 손영배†, 황보창권, 문일춘*, 강건모*
 인하대학교 물리학과, † 삼성테크윈(주)
 e-mail : g2011538@inhavision.inha.ac.kr

광학 박막은 광·전자 산업의 성장과 함께 레이저 반사경, 간섭 필터, 광학 기기, 의료 기기, 디스플레이 기기 등에 폭넓게 이용되고 있다. 보트나 전자총을 이용한 물리적 증기 증착법으로 증착된 박막은 증착 조건에 크게 영향을 받으며, 증착 입자의 에너지가 0.01~0.1 eV 정도로 매우 작기 때문에 기판 위에서 증착 입자의 이동도가 낮아 자유롭게 이동하지 못하고 빈 공간을 포함하는 다공성의 기둥 미세구조를 형성한다.^[1] 이러한 기둥 미세구조의 영향으로 덩어리 물질에 비해 박막의 조밀도는 낮아지게 되고 굴절률이 작아진다. 박막의 기둥 미세구조는 수분, 열 등에 의해 부착력을 감소시키고, 균열의 원인이 되어 외부 환경에 대한 내구성을 약화시켜 수명이 단축되는 결과 등을 초래한다. 따라서 온도, 수분 등의 환경 변화에 대한 광학적, 기계적 특성의 안정화와 내구성이 요구되고 있으며, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 기판의 온도를 높이는 방법과 이온빔 등을 이용한 보조 증착법이 사용되고 있다.^[1]

일반적으로 광학박막은 고굴절률 물질과 저굴절률을 갖는 박막을 교대로 반복한 구조를 가지며, 고굴절률 물질과 저굴절률 물질의 굴절률의 차가 클수록 같은 구조에서도 넓은 파장영역과 높은 반사율을 갖는 광학박막을 설계할 수 있다. 따라서 넓은 대역의 무반사 코팅, 고반사 거울, 좁은 대역 투과필터, 편광광속 분리기 등의 설계에는 고굴절률 물질과 저굴절률 물질의 굴절률차가 클수록 필터의 설계에 유리하다. 광학박막에서 주로 증착되는 고굴절률 물질로는 TiO_2 , Ta_2O_5 , ZrO_2 등이 있으며, 저굴절률 물질로는 MgF_2 , SiO_2 등이 있다. 그 중에서 TiO_2 는 다른 고굴절률 물질들에 비해 가시광선 영역에서 흡수가 작으며 굴절률($n=2.3$)이 높아 다층박막에 주로 사용되어 진다. 한편 저굴절률 물질로는 MgF_2 ($n=1.38$)와 SiO_2 ($n=1.46$)를 주로 사용한다. 이때 $\text{TiO}_2/\text{MgF}_2$ 다층 박막은 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 다층 박막에 비해 굴절률의 차가 크기 때문에 광학박막의 설계에 매우 유리하다. 하지만 MgF_2 박막을 사용하는 경우 일반적인 방법(conventional evaporation, CE)으로 증착하였을 때 MgF_2 박막이 인장응력(tensile stress)이 크기 때문에 다층박막이나 두꺼운 두께로 증착하였을 때 쉽게 박막이 깨지는 단점이 있다[1]. 이러한 이유로 인해 $\text{TiO}_2/\text{MgF}_2$ 다층 박막은 두꺼운 두께로 증착 하였을 때 응력에 의해 쉽게 균열이 생기고, 내구성이 약한 박막으로 증착 되어진다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 플라즈마 이온빔 보조 증착법(plasma ion-assisted deposition, PIAD)을 이용하여 박막이 증착되는 동안 증착되는 입자에 에너지를 전달해 줌으로서 박막의 미세 구조를 변화시키고자 하였다. 이러한 박막 미세구조의 변화는 굴절률을 증가시키고, 박막의 응력을 변화시킴으로써 내구성을 증가시키고 광학적 물리적 특성이 향상 될 것으로 기대하였다. 따라서 본 연구에서는 플라즈마 이온 보조 증착법(plasma ion-assisted deposition, PIAD)을

사용하여 TiO_2 와 MgF_2 단층 박막과 TiO_2/MgF_2 다층박막을 증착하고 물리적 광학적 특성을 조사하였다. TiO_2 와 MgF_2 단층 박막은 플라즈마 이온 보조 증착 방법(PIAD)과 보통 방법(CE)으로 각각 증착하고 그 광학적 물리적 특성을 비교하였으며, 증착하는 동안 기판의 온도(T_s)를 140 °C로 일정하게 유지하며 증착한 박막과 실온에서 증착한 박막의 특성을 함께 조사하였다. 플라즈마 이온 보조증착(PIAD)에 의해 TiO_2 박막은 보통방법(CE)으로 증착 한 박막에 비해 굴절률이 증가하고 소멸계수가 감소하였다. 플라즈마 이온보조 증착(PIAD)과 함께 기판을 가열($T_s=140^\circ C$)한 TiO_2 박막은 굴절률이 가장 높고 소멸계수가 작은 박막으로 증착 되었다. 플라즈마 이온보조 증착(PIAD)에 의해 MgF_2 단층 박막은 흡수가 증가되었으며, 이온빔 보조 증착 하지 않고 기판을 140°C로 가열하며 보통방법(CE)으로 증착한 MgF_2 박막은 기판을 가열하지 않고 보통방법으로 증착한 박막에 비해 굴절률이 낮으며 흡수가 거의 없는 박막으로 증착되었다. 그림 1에는 TiO_2 와 MgF_2 단층 박막의 고유응력 측정값을 나타내었다. MgF_2 박막의 경우 모두 인장응력(tensile stress)을 나타냈으며, PIAD에 의해 인장응력이 증가하였다. 반면, TiO_2 박막은 보통방법(CE)로 증착한 경우 인장응력을 나타냈으며, PIAD와 기판의 가열에 의해 인장응력이 감소하여 압축응력(compressive stress)으로 변화하였다. 단층박막의 증착조건으로부터 TiO_2 와 MgF_2 박막을 이용한 13층의 좁은 대역 투과필터를 설계하였으며, 4 종류의 TiO_2/MgF_2 다층박막 필터를 설계하고 증착하였다. 이때 MgF_2 박막은 플라즈마 이온보조 증착법에 의해 흡수가 증가하기 때문에 다층박막 필터의 증착 시 보통방법(CE)으로만 증착하였다. TiO_2 박막을 보통방법(CE)으로 증착한 TiO_2/MgF_2 다층박막은 crack이 관측 되었으며, 기판을 가열하며 증착한 경우 crack이 감소하였다. 반면, TiO_2/MgF_2 다층박막의 증착에서 TiO_2 박막을 기판온도 140°C로 일정하게 유지하며, 플라즈마 이온 보조 증착(PIAD)을 하고 MgF_2 는 기판을 140°C로 가열하며 보통방법(CE)으로 증착한 경우에는 두 박막의 굴절률차가 크고 박막의 응력이 작아 crack이 없으며, 표면거칠기도 작은 광학적으로 물리적으로 우수한 특성을 갖는 좁은 대역 투과 필터를 증착할 수 있었다. 따라서 플라즈마 이온보조 증착법(PIAD)과 증착 중 기판의 가열을 통해 TiO_2/MgF_2 다층박막의 광학적 물리적 특성을 개선할 수 있었다.

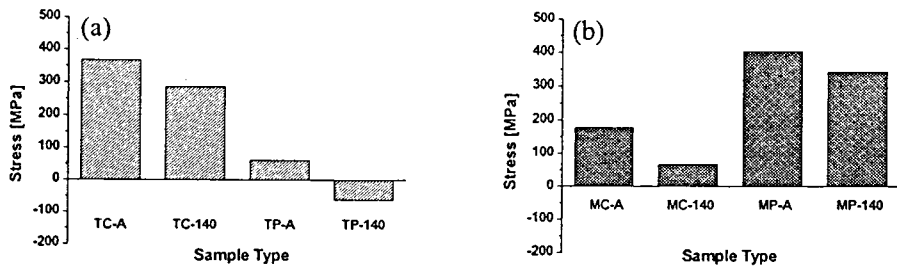


그림 1. 증착조건에 따른 TiO_2/MgF_2 단층 박막의 고유응력 (a) TiO_2 , (b) MgF_2

참고문헌

[1] D. Gbler, S. Laux, N.Kaiser, and H.Bernitzki, Topical Meetings on Optical Interference Coatings, Banff Canada, 15-20 July 2001.
 [2] G. Atanassov, J. Turlo, J. K. Fu, and Y. S. Dai, Thin Solid Films 342, 83 (1999)
 [3] H. K. Pulker, *Coating on Glass* (Elsevier, Amsterdam, 1984)