

경사 입사 증착법으로 증착한 TiO₂ 박막의 광학적 비등방 특성

Optical anisotropy of TiO₂ thin films fabricated using the glancing angle deposition (GLAD)

우석훈, 박용준, 이재홍*, 황보창권
 인하대학교 물리학과, *인하대학교 광기술교육센터
 woo0124@hanmail.net

일반적으로 전자총을 이용하여 증착한 박막은 증착 입자의 에너지가 0.01 ~ 0.1 eV 정도로 매우 작기 때문에 증착 입자의 이동도가 낮아 기판 위에서 자유롭게 이동하지 못하고 빈 공간을 포함하는 다공성의 기둥 미세구조(columnar microstructure)를 형성한다⁽¹⁾. 이러한 기둥 미세구조는 박막의 광학적 특성에 영향을 주며 증착시의 압력, 기판 온도 등의 증착 조건에 많은 영향을 받는다. 1959년 T. G. Knorr와 Hoffman이 Fe 증발입자를 기판에 경사각으로 입사시켜 증착한 박막에서 처음으로 자기적 비등방성(magnetic anisotropy)을 보고한 이후 경사 입사 증착법(glancing angle deposition)은 박막의 미세구조를 조절하고 비등방(anisotropy) 특성을 갖는 박막을 제작하는 방법으로 많은 연구가 진행되어지고 있다⁽²⁾. 특히 경사 입사 증착법으로 증착된 유전체 박막은 기둥 미세구조에 의해 광학적 비등방성(optical anisotropy)을 나타내게 되고 이러한 광학적 비등방성은 diffraction gratings, rugate filter, hybride film/liquid crystal switching cell, photonic bandgap crystal, retardation plate, polarizer 등에 응용이 가능하다⁽³⁾.

본 연구에서는 전자총을 사용하여 경사 입사 증착법으로 증착한 TiO₂ 박막의 증발입자의 입사각에 따른 기둥 미세구조와 광학적 특성을 조사하였다. 증발입자가 기판의 수직방향에 대해 각각 0°, 45°, 60°, 70°의 경사각을 이루도록 치구를 제작하고, 이를 이용하여 TiO₂ 박막을 증착하였다. 증착된 TiO₂ 박막의 경사 입사각에 따른 기둥 미세구조의 변화는 SEM을 이용하여 조사하였으며, 박막의 광학적 특성 분석에는 분광광도계(Cary 500)와 타원 분광광도계를 함께 사용하였다. 타원 분광광도계(VASE)를 사용하여 편광에 상태에 따른 박막의 투과율(T_{pp} , T_{ps} , T_{sp} , T_{ss})을 측정하여 경사 입사각과 TiO₂ 박막의 비등방 굴절률(Δn)과의 관계를 조사하였다.

증착된 TiO₂ 박막은 경사 입사각이 증가할수록 미세기둥의 기울기가 증가하였고, 박막의 굴절률은 감소하였다. 이는 증발입자가 기판에 경사 입사하는 경우, 입사각이 증가할수록 그림자 효과(self shadow-effect)에 의해서 빈공간은 더욱 증가하게 되고 이로 인해 굴절률이 감소하는 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 경사입사각이 증가함에 따라 박막의 비등방성이 증가하였으며 입사각을 70°로 증착한 TiO₂ 단층 구조의 박막은 632.8 nm에서 비등방 굴절률(Δn)이 약 0.07 이었다. 경사 입사 증착법을 사용하여 단층 구조로 증착하는 경우, 기판의 경사각에 의해 균일한 두께를 갖는 박막을 제작하기 어렵다. 따라서 이를 보상하기 위해 기판을 180° 회전하여 지그재그(zigzag) 2-layers 구조로 증착하고 광학적 구조적 특성을 조사하였다. 그림 1 (a)와 (b)에 Zigzag 2-layers 구조로 기판에 수직방향에 대해 0°와 70°의 경사각으로 증착한 TiO₂ 박막의 단면을 나타내었다. 0°의 경사각으로 증착한 박막(a)은 미세기둥의 방향이 기판에 수직인 반면, 70°의 경사각으로 증착한 박막(b)의 미세기둥의 기울기가 증가하고 zigzag 2-layers의 구조로 증착되었음을 보여준다. 그림 1 (c)와 (d)는 박막 표면의 SEM 이미지로 0°의 경사각

으로 증착한 박막(c)에 비하여 70°의 경사각으로 증착한 박막(d)는 박막 표면에 미세한 구멍들이 있음을 보여준다. 이는 입사각이 증가함에 따라 그림자 효과에 의해서 빈 공간(void)가 증가하고이로인해 다공성의 박막으로 증착됨을 알 수 있다. 그림 2에는 zigzag 2-layers의 구조의 TiO₂ 박막의 광학적 특성을 나타내었다. 경사 입사각을 0°로 증착한 경우 그림 2 (a)와 같이 p-편광파에 대한 s-편광파의 파장에 따른 투과율은 $T_{ps} = 0$ 으로 광학적 등방성을 나타내었지만 경사 입사각을 70°로 증착한 경우 그림 2 (b)와 같이 p-편광파에 대한 s-편광파의 파장에 따른 투과율은 $T_{ps} \neq 0$ 으로 광학적 비등방성이 나타남을 알 수 있다. 그림 2 (c)는 경사 입사각을 70°로 증착한 박막을 서로 수직하는 편광자 사이에서 두고 회전각에 따른 투과율을 나타낸 것으로 짧은 파장에서의 광학적 비등방성이 큼을 알 수 있었다.

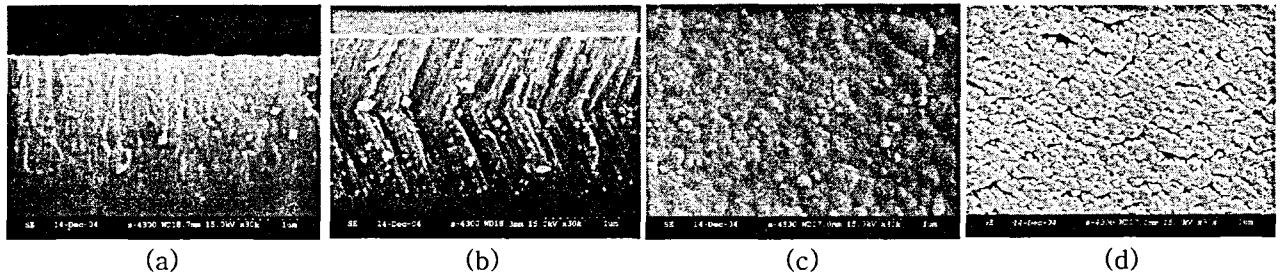


그림 1. Zigzag 2-layers 구조로 증착한 TiO₂ 박막의 SEM 이미지 (a) 0°(b)70°, (c) 0°(d) 70°

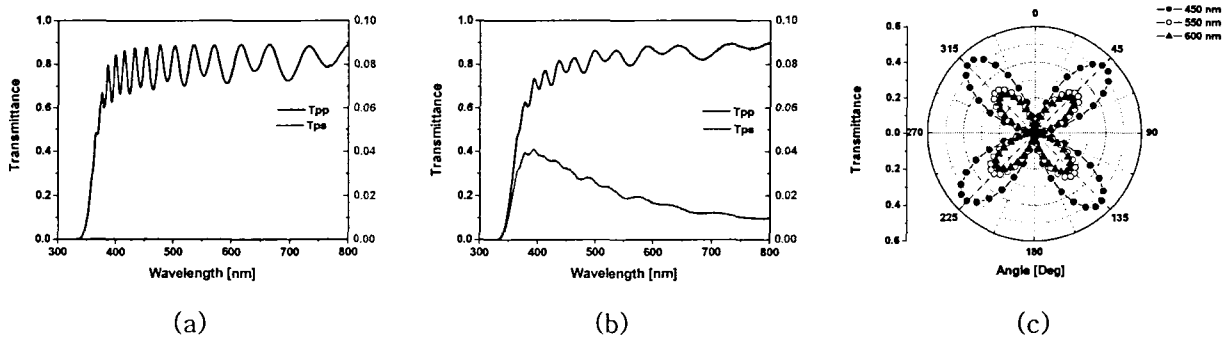


그림 2. Zigzag 2-layers 구조로 증착한 TiO₂ 박막의 광학적 특성 (a) 경사 입사각 0°인 시료의 T_{pp} 와 T_{ps} , (b) 경사 입사각 70°인 시료의 T_{pp} 와 T_{ps} , (c) 서로 수직하는 편광자 사이에서의 회전각에 따른 시료의 투과율(Zigzag 2-layers 구조로 증착한 TiO₂ 박막, 경사 입사각 70°)

참 고 문 헌

1. H. A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters*, 3rd ed. (Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2001), 462-468
2. T. G. Knorr and R. W. Hoffman, "Dependence of Geometric Magnetic Anisotropy in Thin Iron Films", *Phys. Re.* **113**, 4, 1039-1046 (1959).
3. T. Motohiro and Y. Taga, "Thin film retardation plate by oblique deposition", *Appl. Opt.* **28**, 2466-2482 (1989).

