

## 고진공 반응이온 마그네트론 스퍼터링으로 증착된

### TiO<sub>2</sub> 박막의 광학적, 구조적 특성

## Optical and structural properties of TiO<sub>2</sub> thin films by high-vacuum reactive magnetron sputtering

김성화\*, 이인선, 황보창권

인하대학교 물리학과

joke100@chollian.net

최근 광 응용기술, 레이저 및 광통신 기술이 빠르게 발전함에 따라 고부가 가치 광학박막의 규격이 높아지고 있으며, 덩어리와 같은 광학적, 기계적 특성을 갖는 광학박막이 요구되고 있다. 일반적으로 이러한 성능을 만족하는 광학박막을 제작하기 위해 전자빔으로 증발되어 기판에 증착되는 박막에 직접 산소 이온을 이온총을 이용하여 기판에 쏘아줌으로써 양질의 산화박막을 제작하는 이온빔 보조 증착법이 가장 많이 적용되고 있다. 여기서 이온빔은 증착되는 박막의 기둥구조를 파괴시켜 원래의 덩어리(bulk)에 가까운 성질을 갖는 조밀한 박막을 제작하는데 이용된다. 좀더 조밀한 박막을 만들어 덩어리에 가까운 성질을 갖도록 하기 위해서는 박막을 형성하는 이온들의 이온에너지를 높여주어야 하는데, 그 방법으로 이온빔 스퍼터링이나 RF 또는 DC 마그네트론 스퍼터링 방법 등이 있으며, 최근에는 medium frequency에 의한 twin-마그네트론 스퍼터링 기술을 이용하기도 한다<sup>(1-4)</sup>.

광학박막을 일반적인 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작할 경우, 기판이 스퍼터링 소스에 가깝고 수 mTorr이상의 압력에서 증착되기 때문에 박막내에 불순물이 첨가될 수 있으며, 증착률이 낮아서 100층이상의 다층 구조를 갖는 WDM이나 DWDM 필터와 같은 광통신에 들어가는 광학 부품의 양산 체계에는 적합하지 못하다. 특히, DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 TiO<sub>2</sub>나 SiO<sub>2</sub>와 같은 유전체 박막을 증착할 때, 반응가스인 산소로 인해 타깃 위나 기판 근처에서 발생하는 미세한 아크들로 인해 타깃에서는 국부적인 용융이 일어나고 거대 입자들이 생성되는데 이러한 거대 입자들로 인해 증착된 박막의 표면을 손상시켜 광학성능의 저하를 초래하게 된다. 이러한 미세 아크의 발생을 감소시키거나 제거하기 위해, 타깃에 인가시켜주는 전원을 bipolar pulsed DC나 medium frequency pulsed AC를 이용한다<sup>(1-4)</sup>.

반응 가스인 산소에 의한 타깃 표면에서의 미세 아크 발생을 줄여주기 위해 본 연구에서는 스퍼터링 소스의 타깃에서 기판까지의 거리인 타깃-기판 거리(throw distance)를 길게 해 주었고 산소는 기판 주위에 주입시켜 주었다. 또한 스퍼터링 소스로 주입되는 아르곤 가스가 챔버 전체로 확산되는 것을 방지하기 위해 빠른 배기 속력의 진공펌프를 스퍼터링 소스와 가까운 위치에 부착하였다. 스퍼터링 소스 주위의 진공도는 스퍼터링이 일어나는 수 mTorr이상이 될 것이고, 기판 근처의 진공도는 10<sup>-4</sup> Torr 영역을 유지할 수 있다. 이러한 방법을 고진공 반응이온 마그네트론 스퍼터링 방법이라고 부르는데, 기판 근처의 진공도가 10<sup>-4</sup> Torr 대이기 때문에, 증착 이온이 일반적인 마그네트론 스퍼터링보다 평균자유경로가 길어지게 되고, 기판까지 도달하는 증착 이온의 이온에너지 손실이 적어서 이온빔 스퍼터링에서 제작된 박막과 동일한 수준의 조밀한 박막을 만들 수 있다. 본 연구에서는 고진공 반응이온 마그네트론

스퍼터링을 구현하기 위해 타깃-기판 거리를 300~400 mm의 범위로 하였으며, 10" CRYO 펌프를 사용하였다.

고진공 반응이온 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 금속산화박막인 TiO<sub>2</sub> 박막을 제작하였다. DC 마그네트론 소스를 이용하였으며, 사용한 소스 타깃은 Ti이다. 소스에 주입되는 아르곤 주입량은 20 sccm이고, 인가되는 DC power는 620±10 W로 유지시켰다. 반응 가스인 산소 주입량에 따른 박막의 특성변화를 알아보기 위해 반응 가스인 산소의 주입량은 10~30 sccm으로 변화시켰고, 이 때의 증착 압력은 5.7~8.7×10<sup>-4</sup> Torr였다. 이 때의 기판 높이는 350 mm로 하였다. 또한 기판 높이의 변화에 따른 박막의 특성을 알아보기 위해 기판 높이를 150~400 mm로 변화시켰다. 이 때의 산소주입량은 20 sccm으로 고정하였고 증착압력은 6.7×10<sup>-4</sup> Torr였다. 초기 진공도는 2.0×10<sup>-6</sup> Torr이며, 기판은 유리를 사용하였으며, 두께의 균일성을 위해 기판을 회전시켰으며, 가열을 하지 않은 상태에서 증착 온도는 최고 60°C였다.

반응 가스인 산소의 주입량에 따른 TiO<sub>2</sub> 박막의 광학적 특성과 구조적 특성을 알아보았다. 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막의 광학적 특성은 분광광도계로 측정된 반사율과 투과율 스펙트럼으로부터 포락선 방법을 이용하여 박막의 광학상수(굴절률과 소멸계수)와 두께를 결정하였다. XRD 스펙트럼을 이용하여 구조적 특성을 알아보았다. 산소주입량의 변화에 따른 박막의 증착률은 산소의 주입량이 증가함에 따라 1.0~0.1으로 감소하였는데, 이것은 산소의 주입량이 증가됨에 따라 타깃이 metallic 모드에서 oxide 모드로 전환되기 때문이다.

본 연구에서 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률은 산소 주입량이 증가함에 따라 2.46~2.56의 값을 가졌으며, 일반적인 반응이온 증발법이나 이온보조 증착법으로 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막보다 높게 나왔으며, 25 sccm에서 피크값을 갖는다. 반면에 소멸계수는 0.003~0.008의 값을 가지는데, 다른 방법으로 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막보다 높게 나왔다. 50일 동안 대기중에 노출 시킨 후 투과율을 측정한 결과 파장이동이 거의 없었으며, 고진공 반응이온 마그네트론 스퍼터링에서 제작된 박막의 조밀도가 높다는 것을 알 수 있다. 한편 산소주입량의 변화에 따른 TiO<sub>2</sub> 박막의 XRD 스펙트럼은 bare 기판과 동일한 형태의 스펙트럼을 보였으며 특정한 피크들이 나타나지 않았다. 그러나 기판 높이에 따른 TiO<sub>2</sub> 박막의 XRD 측정 결과, 기판 높이가 스퍼터링 소스에서 가장 가까운 150 mm인 경우, R(111) 피크가 상당히 크게 나타났으며, 기판 높이가 높아짐에 따라 이 피크가 없어지는 것을 볼 수 있었다. 따라서, 고진공 반응이온 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막은 높은 굴절률을 가지며, 비정질임을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] J. Szczyrbowski et al. "Antireflective coatings on large scale substrates produced by reactive twin-magnetron sputtering", Journal of Non-Crystalline Solids 218, 25-29 (1997).
- [2] H. K. Pulker, "Optical coatings deposited by ion and plasma CVD processes", Surface and Coating Technology 112, 250-256 (1999).
- [3] J. Szczyrbowski et al., "Some properties of TiO<sub>2</sub> layers prepared by medium frequency reactive sputtering", Surface and Coatings Technology 112, 261-266 (1999).
- [4] I. Safi, "Recent aspects concerning DC reactive magnetron sputtering of thin films: review", Surface and Coatings Technology 127, 203-219 (2000).

\* 본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기반기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.