

ALD 방법으로 제조된 나노급 TiO₂에 의한 자외선 차단효과 연구

한정조¹, 윤기정^{1*}, 송오성¹, 류지호²

UV Absorption of Nano-thick TiO₂ Prepared Using an ALD

Jeung-Jo Han¹, Ki-Jeong Yoon^{1*}, Oh-Sung Song¹ and Ji-Ho Ryu²

요약 ALD (atomic layer deposition)법을 이용하여 두께를 달리한 10~50 nm-TiO_{2-x}/quartz 구조의 UV 기능성 박막을 형성시켰다. 박막의 두께는 우선 10 nm-TiO_{2-x}를 성장한 후 엘립소미터로 두께를 확인하였고 나머지 두께는 증착시간을 선형적으로 조절하여 완성하였다. TiO₂ 박막 두께에 따른 생성상과 파장대별 흡수도, 가시광선의 투과율을 각각 X선 회절기, UV-VIS-IR 분석기, 접사용 디지털 카메라를 써서 확인하였다. ALD 법으로 제조된 TiO_{2-x}는 벌크 TiO₂에 비해 비정질 (amorphous)이면서 비정량적인 TiO_{2-x} 형태임을 확인하였다. 380 nm와 415 nm의 흡수단을 보여 3.0~3.2 eV의 밴드갭을 가지는 기존의 벌크 TiO₂와는 달리, 제작된 TiO_{2-x} 박막은 197 nm와 250 nm의 부근에서 흡수단을 보이는 특징이 있었다. 따라서 장파장대의 자외선을 차단하는 기능을 가진 기존의 벌크 TiO₂와는 달리 ALD로 제작된 나노급 TiO₂는 단파장대의 자외선을 흡수할 수 있는 기능성이 있었고, 아울러 가시광선대에서 우수한 투과도를 보였다. 새로이 제안된 ALD를 이용한 나노급 TiO_{2-x} 박막은 가시광선의 투과도는 향상시키면서 단파장대의 자외선을 효과적으로 흡수하는 기능성을 가졌음을 확인하였다.

Abstract We fabricated UV absorption functional 10~50 nm-TiO_{2-x}/quartz structures layer using ALD (atomic layer deposition) method. We deposited 10 nm-TiO_{2-x} layer on quartz substrate using ALD, and film thickness was determined by an ellipsometer. The others specimen thickness was controlled by ALD time lineally. We characterized controlling phase UV and visible optical property using an X-ray diffractometer, a UV-VIS-IR spectrometer and a digital camera. ALD-TiO_{2-x} layers were non-stoichiometric TiO_{2-x} form and amorphous phases comparing with bulk TiO₂. While the conventional bulk TiO₂ had band gap of 3.0~3.2 eV resulting in absorption edges at 380 nm and 415 nm, ALD-TiO_{2-x} layers showed absorption edges at 197 nm and 250 nm. Therefore, our nano-thick ALD-TiO_{2-x} was able to absorb shorter UV region and showed excellent transmittance in visible region. Our result implies that our newly proposed nano-thick TiO_{2-x} using ALD process may improve transmittance in visible rays and be able to absorb shorter UV light effectively.

Key words : ALD, TiO₂, nano-thick TiO_{2-x}, ultra violet, reflectance.

1. 서론

태양광은 지구상에 존재하는 많은 생명체에 필수 불가결한 주요 에너지원으로 자외선, 가시광선, 적외선으로 구성되어 있다. 가장 각광받는 대체 에너지인 태양에너지로서 각각의 자외선, 가시광선, 적외선을 선택적으로 투과시키거나 차단할 수 있는 조절 기능을 부여하면 고부가가치 기능성 소재 개발이 가능하다.

특히 자외선은 400 nm 이하 파장 영역으로 가시광선

보다 짧은 파장특성을 가진 빛으로 특유의 고에너지 살균효과를 갖지만, 인체에 너무 많이 노출되면 피부손상의 발생 가능성이 있어 자외선 차단제를 사용하여 적절히 조절하는 것이 필요하다. 최근 환경오염으로 인한 지구오존층의 파괴로 자외선의 지표면에서의 도달량이 증가하고 있어 자외선을 효과적으로 차단하여 직접적인 피해를 최소화 시켜야 할 필요가 있다.

기존의 자외선 차단제로 이미 상용화된 대부분의 자외선 크림 등은 주성분이 밴드갭이 3.2 eV로 자외선을 흡수하여 활성화 될 수 있는 대표적인 소재로 알려진 TiO₂, SnO₂ 등이 나노급 크기의 분말로서 젤 형태로 분산되어 쓰이고 있고, 선글라스나 창호에도 TiO₂의 나노급 두께의

¹서울시립대학교 신소재공학과

²아주자동차대학 자동차계열

*교신저자 : 윤기정(ykj3946@uos.ac.kr)

박막을 채용하여 자외선을 차단할 수 있는 기능성 소재가 개발되어 왔다. 특히 TiO₂는 광촉매효과와 함께 나노급 박막인 경우 가시광선의 투과도를 높게 유지하면서 자외선 차단 효과가 큰 재료로 각광받고 있다.

기존의 TiO₂ 증착에는 CVD (chemical vapor deposition)이 많이 사용되었으나, LP (low pressure)CVD는 600℃ 이상의 높은 증착 온도를 유지하여야 하므로 유리 기판과 같은 저용점 기판을 채용할 수 없는 단점이 있었고, MO (metal organic)CVD는 증착온도가 450℃ 이하로 낮출 수 있어서 비교적 손쉽게 박막을 형성할 수 있는 장점이 있으나, 최종 박막의 비저항값이 높고 불순물의 농도가 높은 단점이 있었다.[1,2,3]

비교적 최근에 주로 고율전을 나노급 게이트 절연층을 만들기 위해 개발된 ALD (atomic layer deposition)을 이용할 경우, 기존의 CVD보다 증착온도가 낮고, 불순물의 오염이 적으며, 비저항이 낮고, 박막의 두께를 Å 단위로 제어하여 정확한 두께 제어가 가능하여 나노 층상 조직 형성에 유리할 수 있다.

ALD는 기존의 CVD와는 달리 소스와 반응물을 시분할 (time division)로 주입하여 서로 간의 기상반응을 억제하여 표면에서 제한된 반응을 유도함으로써 기상반응으로 인한 파티클 발생을 억제하고 소스의 양과는 무관하게 Å 단위로 증착되는 특징이 있다.[4] 따라서 ALD는 자기 제한적 (self-limiting) 반응특성으로 인한 등방 프로세스 (conformal process)가 가능하므로 박막의 두께를 나노급으로 제어하여 정확한 두께 제어가 가능하며, 저온공정, 대면적화, 우수한 단차피복 (step coverage), 우수한 두께 균일도, 조성제어 용이성, 불순물이나 파티클 등의 유입을 방지할 수 있는 특징을 갖게 된다.[5,6,7]

기존의 자외선 차단제로 이미 상용화된 TiO₂를 나노급 박막으로 제조할 경우 가시광선의 투과도를 높게 유지하면서 자외선 차단 효과가 클 것이라 예상된다. 따라서 본 연구에서는 TTIP (titanium-tetra-isopropoxide : $(\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4)$)를 출발 물질로 하여 ALD 방법으로 10~50 nm의 나노급 TiO₂ 박막을 제조하여 XRD를 통한 상분석, UV-VIS-IR을 이용한 적외선·가시광선대의 반사도, 디지털 카메라를 이용하여 가시광선에 대한 투과도를 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 기판온도가 400℃까지 조절가능하고 한 번이 3 cm까지 장입이 가능한 정방형 ALD를 이용하여 석영 기판을 사용하여 진행하였다.

TiO₂ 박막의 증착 실험을 위해 양면이 연마된 두께 550 μm의 직경 10 cm의 석영 (quartz) 웨이퍼를 사용하였다. 웨이퍼를 일정한 크기로 잘라 ALD에 장입하여 기판으로 사용하였다.

TiO₂ 박막의 증착을 위한 전구체로서는 TTIP를 사용하였고, 반응기체는 H₂O를 사용하였다. TTIP는 항온조에서 50℃로 유지되며 수송 가스 (carrier gas)인 질소 (N₂)에 의해 반응로로 주입되었다. 제거 가스 (purge gas)는 고순도의 아르곤 (Ar)가스를 사용하였다. 증착 시 반응로의 공정 압력은 800 mtorr, 초기 진공도는 1 mtorr 이하로 유지하였고 증착온도는 200℃를 유지하였다. 그림 1에는 ALD법을 이용한 TiO₂ 박막 형성과정을 도식화하였다. 먼저 $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ 가 공급된 뒤 Ti 원소가 기판 위에 흡착하게 된다. 이 때 Ti 원소는 기판과 화학적으로 흡착하여 결합력이 강한 반면 $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ 원료끼리는 결합력이 약한 물리적 흡착으로 이루어진다. 다음 단계인 제거 (purge)에서 물리적으로 흡착한 반응 원료는 모두 떨어져 나가 제거되고 화학적으로 흡착한 Ti 원소는 흡착된 채로 남아 있게 된다. 이러한 화학적 흡착과 물리적 흡착의 차이에 의해 ALD 기술에서 원자층 단위의 조절이 가능하게 된다. 제거 후 TiO₂ 화합물을 만들기 위해 공급한 H₂O는 Ti 원소와 서로 반응하여 Ti-O 결합이 이루어지게 되고 남아있던 잔류물들은 결합하여 부산물로서 기상으로 빠져나가게 된다. 그 후 마찬가지로 제거를 통해 물리적 흡착하고 있는 H₂O는 모두 제거되고 단원자층만큼 성장하게 된다. 이 네 단계를 한 주기 (cycle)로 하여 반복 실시하였다. 주기 시간을 변화시켜 표 1에 1번부터 5번까지 나타낸 바와 같이 10, 20, 30, 40, 50 nm 두께의 TiO₂를 증착하여 최종적으로 TiO₂(10 nm)/quartz, TiO₂(20 nm)/quartz, TiO₂(30 nm)/quartz, TiO₂(40 nm)/quartz, TiO₂(50 nm)/quartz 구조의 시편을 준비하였다.

증착된 TiO₂ 박막은 엘립소미터 (ellipsometer, J. A. Woollam사, M-2000D)를 이용하여 두께 측정을 하였다. 두께 측정은 완성된 조건에 따른 시편을 엘립소미터 측정 스테이지에 고정시킨 후 편광된 레이저 정렬 (align)을 하였고, 90°의 위상차를 가진 P파와 S파를 발생시켜 산화막에서 반사된 P파와 석영 기판과 산화막의 경계에서 반사된 S파의 진폭과 위상차를 감지하여 실시하였다. 박막 두께와 막 성장 주기 회수는 서로 직선적인 관계를 가진다는 ALD법의 특성을 이용하여 10~50 nm의 TiO₂ 증착을 위해 먼저 10 nm를 목표로 성막한 박막을 엘립소미터로 확인하고 나머지 두께는 증착시간으로 선형적으로 조절하였다.

한편 ALD로 증착된 나노급 TiO₂ 박막과의 비교를 위해서 표 1의 6번과 같이 100 nm의 열산화막을 가진 실리

콘 기판에 ALD로 100 nm의 TiO₂ 박막을 제조하였고, 또한 표 1의 7번과 같이 루타일 (rutile)구조의 순도 99.9%, 입도 사이즈가 2 μm인 TiO₂ 분말을 준비하였다.

생성된 상을 확인하기 위해서 X-선 회절분석을 이용하였는데, X선 소스 (source)는 니켈 필터를 통과시켜 얻은 CuKα 로 파장은 1.5406 Å 이었고, 이 때 필라멘트 전류는 20 mA, 가속전압은 30 kV이었다. 스캔영역은 JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) 카드에 나와있는 TiO₂를 고려하여 2θ 를 0°~80° 범위에서 벌크 TiO₂ 파우더와 석영 기판에 ALD법으로 TiO₂를 10, 20, 30, 40, 50 nm의 두께로 증착한 시편의 상을 분석하였다. 벌크 TiO₂ 파우더는 파우더용 홀더에 담고 유리봉으로 압착 후 유리판으로 평탄하게 만들어 XRD내에 장착하였다. 얻어진 회절피크로 JCPDS 카드를 이용하여 상을 확인하였다.

또한 벌크 TiO₂ 분말과 나노급 TiO₂ 시편들의 반사도의 정량적인 분석을 위해 UV-VIS-IR (Shimadzu사 UV-1100)를 이용하여 적외선과 가시광선대의 반사도를 확인하였다. 우선 테프론을 홀더에 고정시켜 베이스라인을 설정하였다. 벌크 TiO₂ 분말은 파우더용 원형 홀더에 담고 유리봉으로 압착 후 유리판으로 평탄하게 만들어 고정시킨 후, 슬릿 (slit) 크기를 2 nm로 하여 190~3200 nm 범위에서 반사도를 측정하였다. 나노급 TiO₂ 시편은 완성된 조건별로 웨이퍼용 홀더에 고정시켜 벌크 TiO₂ 분말 측정과 동일한 방법으로 반사도를 측정하였다. 측정된 스펙트럼은 최대값을 기준으로 1로 정규화를 하고 동일한 그래프에 표현하여 비교하고자 각 스펙트럼에 일정한 값을 더하여 정규화 (normalize) 하였다.

나노급 TiO₂가 증착된 시편의 가시광선에 대한 투과도를 확인하기 위해 디지털 카메라 (Nikon사 coolfix 4500)에 접사용 렌즈 (EF 100mm F2.8 micro USM)를 부착하여 측정하였다. 백색광 분위기에서 초점거리 10 cm, 셔터속도 3, 조리개 수치 6.3으로 고정한 후 3이 새겨진 흰색 반투명 아크릴 숫자판 위에 나노급 TiO₂ 시편을 위치시켜 가시광선에 대한 투과도를 정성적으로 확인하였다.

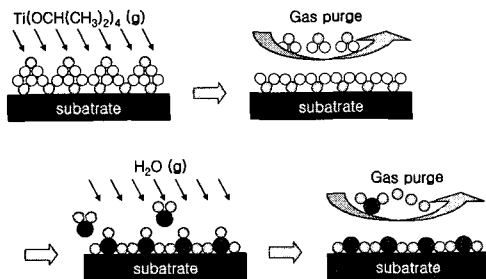
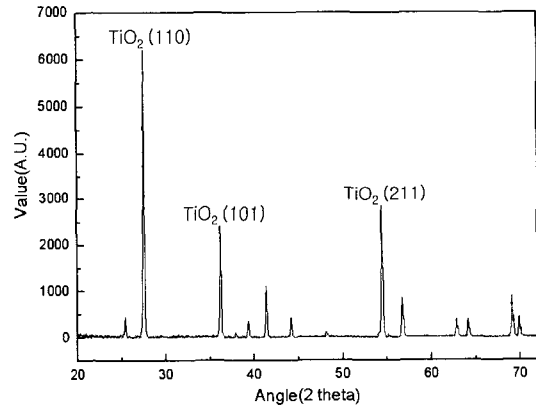


그림 1. 나노급 TiO₂ 제조를 위한 ALD 공정

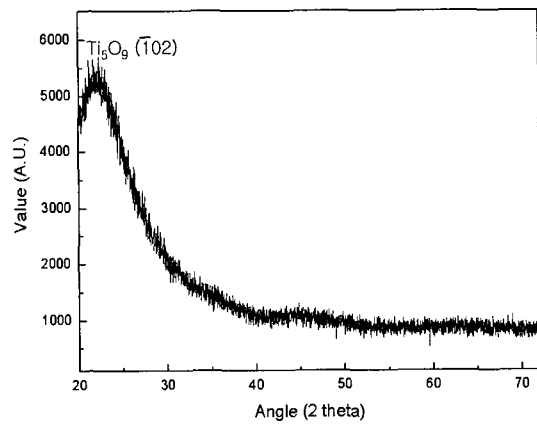
표 1. 실험에 사용된 시편 및 용도

specimen number	specimen	purpose
1	10 nm-TiO ₂ /quartz	XRD (phase characterization) UV-VIS-IR (UV absorption property) VIS-Digital Camera (VIS transmittance property)
2	20 nm-TiO ₂ /quartz	
3	30 nm-TiO ₂ /quartz	
4	40 nm-TiO ₂ /quartz	
5	50 nm-TiO ₂ /quartz	
6	100 nm-TiO ₂ / 100 nm-SiO ₂ /Si	XRD ref. (phase characterization)
7	bulk-TiO ₂ powder	UV-VIS-IR (UV absorption property) XRD (phase characterization)

3. 실험결과 및 토의



(a) Bulk-TiO₂



(b) 50 nm-TiO₂/quartz

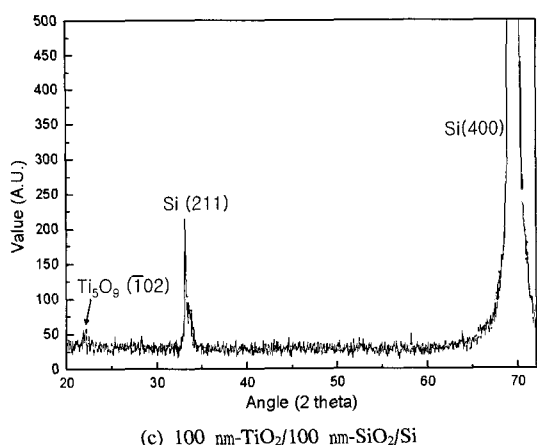
(c) 100 nm-TiO₂/100 nm-SiO₂/Si

그림 2. 벌크 TiO₂와 기판을 달리한 TiO₂ 적층 박막의 상 분석. (a) bulk TiO₂, (b) 50 nm-TiO₂/quartz, (c) 100 nm-TiO₂/100 nm-SiO₂/Si.

그림 2에는 비교를 위한 벌크 TiO₂ 파우더 및 TiO₂의 두께와 기판의 종류에 따른 생성 상의 확인을 위해 석영과 실리콘 기판위에 50 nm-TiO₂/quartz와 100 nm-TiO₂/100 nm-SiO₂/Si 구조를 2 θ = 0°~80° 범위에서 조사한 XRD 회절피크에 대한 강도 (intensity)를 비교하였다.

(a)의 벌크 TiO₂ 경우 이미 알려진 2 θ 값이 27° 정도인 TiO₂ (110)의 형성을 나타내는 피크가 존재하였고, 2 θ 값이 54°인 (101)면의 2nd 피크와 36°인 (211)면의 3rd 피크도 나타나 전형적인 루타일 구조의 TiO₂임을 보이고 있다.

(b)에는 ALD법으로 석영 기판위에 50 nm 두께의 TiO₂를 증착한 결과를 나타내었다. 동일하게 만든 시편에서 증착두께 10~40 nm인 경우는 전 범위에서 평평한 결과를 보여 비정질 (amorphous) 구조임을 확인할 수 있었다. 그림에 나타난 50 nm 경우는 22.4°에서 브로드한 피크의 XRD 회절 곡선을 얻었다. JCPDS에 근거하여 비정량적인 Ti₅O₉상이 (102)면으로 판단하였다. 원상희 등[8]에 의하면 ALD법으로 TiO₂를 실리콘 기판위에 성장한 후 산소와 진공분위기에서 각각 300°C와 700°C로 열처리를 하였을 경우 2 θ 가 25°인 (101)면과 27°인 (110)면에서 TiO₂상이 나타난다고 보고한 바 있다. 따라서 본 실험에서 ALD로 TiO₂가 아닌 Ti₅O₉가 생성된 것은 Ti과 O가 반응하여 TiO₂를 생성하기에는 상대적으로 낮은 증착온도 (200°C)로 인해 반응구동력이 부족하여 비정질이거나 비정량상인 TiO_{2-x} 형태로 Ti₅O₉이 형성된 것으로 판단된다.

(c)에는 (b)의 경우와 비교를 위해 단결정 p-Si(100) 기판에 (b)와 동일한 ALD법으로 100 nm 두께의 TiO₂를 성장한 것으로 2 θ 값이 22.4°, 33.2°, 70°인 피크가 나타났다. 22.4°의 피크는 (b)와 동일한 발생하여 Ti₅O₉가 생성

되었음을 알 수 있고 33.2°와 70°는 실리콘의 각각 (211)면과 (400)면에 의한 피크이다. 따라서 ALD 증착법에 의한 TiO₂는 기존 벌크와는 달리 40 nm 이하에서는 비정질 상으로 생성되나 두께가 50 nm 이상이 되면 준결정상으로 생성됨을 확인할 수 있었다.

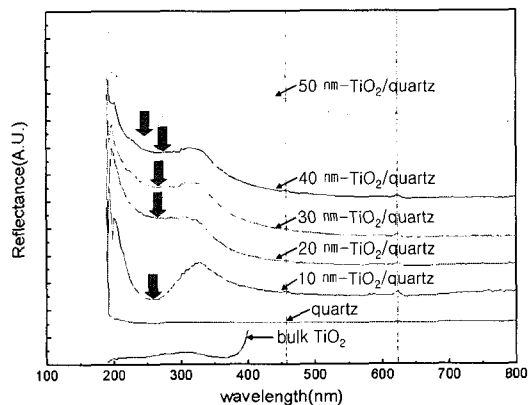


그림 3. 벌크 TiO₂와 나노급 TiO₂의 적층 두께별 스펙트럼 분석 결과

그림 3에는 벌크 TiO₂와 ALD법으로 석영 기판 위에 증착한 TiO₂의 두께별 반사도를 200~800 nm 범위에서 UV-VIS-IR로 측정된 결과를 나타내었다. 측정된 로우 데이터 (raw data)는 효율적인 비교를 위해 정규화 (normalize)한 후 파장대별 반사율을 A.U. (arbitrary unit)으로 나타내었다.

비교를 위한 벌크 TiO₂ 분말의 경우, (가시광선 영역대인 400~800 nm에서는 분말의 특성을 감안하여 도시하지 않았다.) 흡광영역이 390 nm 이하의 파장대에서는 기존의 TiO₂ 특성대로 큰 흡수도를 보이고 3.0~3.19 eV의 밴드갭을 가지는 것으로 나타났다. 통상적인 벌크 TiO₂가 음이온이 HCP 조밀 적층 (close packing)을 하고 양이온이 1/2의 팔면체 자리 (octahedral site)를 채우면서 전체적으로 사면체 (tetragonal) 단위포를 형성하며 티타늄 원자와 산소 원자사이의 거리가 1.9543 Å인 결정구조로 이루어져 있고, 흡광영역은 390 nm 이하로 3.0~3.2 eV의 밴드갭을 가져 자외선 영역의 빛에 대해서만 활성을 하는 기존 루타일 상의 TiO₂와 동일함을 알 수 있다.[9]

ALD법에 의해 석영 기판위에 제조된 10~50 nm 두께 TiO₂ 박막의 경우도 벌크 TiO₂와 같이 3.2 eV (아나타제) 또는 3.0 eV (루타일)에 의한 380, 415 nm 정도의 자외선 장파장 흡수를 보일 것이 예상되었으나 그래프에서와 같이 모두 250, 197 nm의 부근에서 흡수단을 보여 5.0, 6.3 eV의 밴드갭을 가지는 새로운 형태의 비정질 박막이 형성되었음을 의미하고 있다.

Petkov[10] 등은 실험 매커니즘과 일치하는 RMC (reverse Monte Carlo) 시뮬레이션을 사용하여 아몰퍼스 TiO₂의 원자배열이 Ti-O 팔면체 체인이 지그재그 형으로 짧게 이루어진 브루카이트 (brookite, TiO₂ 동질 이상체)와 비슷함을 보고하였다. 또한 이러한 브루카이트 구조는 불안정상으로 기존 TiO₂보다 밴드갭이 커질 것을 예상하였다. 따라서 10~40 nm 두께 TiO₂ 박막은 브루카이트와 비슷한 비정질 구조로 본 실험과 같이 밴드갭이 크게 될 수 있었다.

일반적으로 비정질은 결정질보다 단범위 결합으로 원자간 거리가 줄어들을 예상할 수 있다. 따라서 원자간 거리가 짧아지면 결합에너지의 분리가 더욱 커져서 밴드갭이 커지게 된다.[11] 그래서 우리의 10~40 nm 두께의 ALD-TiO₂ 박막은 비정질상이라서 벌크보다 밴드갭이 커질 수 있다고 판단되었다.

한편, Marezio[12] 등은 Ti₅O₉ 구조가 결정학적으로 독립적인 6개의 Ti 원자가 5개씩 모여 대칭을 이루는 2개의 유사루타일 (pseudorutile) 체인을 이루며, 각 체인에서 대칭의 중심에 있는 Ti 원자 중간에 루타일 단위정이 존재함을 보고하였다. 또한 Ti₅O₉상이 루타일 단위정을 포함하는 유사루타일 구조를 가지므로 Ti-O 원자간 거리가 벌크 TiO₂ 보다 길어질 수 있음을 보고하였다. 따라서 Ti₅O₉의 형성은 밴드갭이 더 작아지게 할 것이라고 예상했으나, 본 실험에서는 Ti₅O₉상이 형성된 50 nm 두께의 ALD-TiO₂ 박막이 10~40 nm 두께의 ALD-TiO₂ 박막과 유사한 흡수단을 보이고, XRD 분석에서도 브로드한 Ti₅O₉ 피크가 나타남에 근거하여, Ti₅O₉상은 국부적으로만 존재하고 대부분은 비정질상으로 구성되어 다른 작은 두께의 박막과 비슷한 밴드갭 특성을 보이는 것으로 생각되었다.

따라서 기존의 티타늄산화기판이 390 nm 이하 자외선 영역의 넓은 부분을 차단하는 기능을 가졌음에 비해 본 연구에서 ALD로 공정을 이용하여 만든 TiO₂ 박막 기판은 250 nm 부근의 단파장대 자외선을 선택적으로 흡수하는 기능을 가진 것으로 판단되었다.

또한 제안된 ALD-TiO₂는 TiO₂ 박막이 나노급으로 형성되어 가시광선대에서 우수한 투과도를 보이는 석영 기판의 특성을 그대로 지니고 있는 것으로 판단되었다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 석영 기판으로부터 나오는 460, 622 nm의 피크가 모든 TiO₂ 박막 시편에 보여 가시광선대의 우수한 투과도를 보이고 있음을 알 수 있었다.

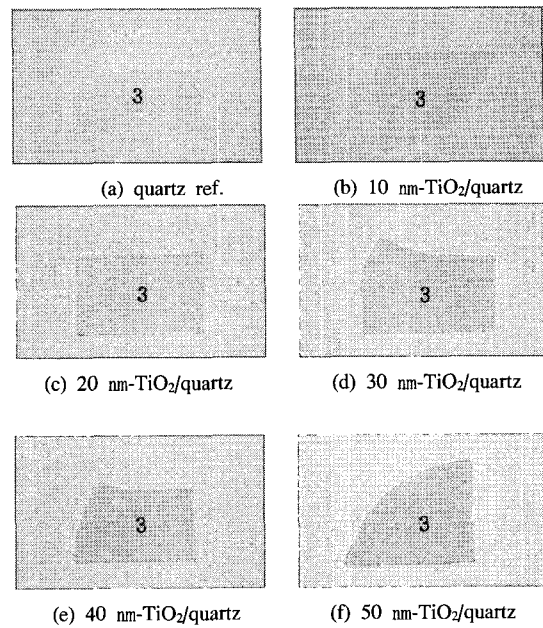


그림 4. 나노급 TiO₂의 적층 두께별 가시광선 투과도 (a) quartz ref., (b) 10 nm-TiO₂/quartz, (c) 20 nm-TiO₂/quartz, (d) 30 nm-TiO₂/quartz, (e) 40 nm-TiO₂/quartz, and (f) 50 nm-TiO₂/quartz

그림 4에는 10~50 nm의 두께의 ALD-TiO₂ 박막의 가시광선 투과율 정도를 나타낸 것이다. 박막의 두께가 두꺼워질수록 시편의 겉보기 색이 다소 진해지긴 하지만, TiO₂ 박막의 두께에 따른 숫자의 선명도 차이가 육안으로 식별이 불가하여 가시광선 투과율 차이는 없음을 확인하였다. 이는 쿼츠 기판위에 증착된 TiO₂ 박막의 두께의 차이가 미소하고 두께 자체도 나노급의 박막이기 때문이다. ALD로 만든 TiO_{2-x}는 앞서 보인 그림 3과 같이 가시광선 영역대에서 우수한 흡수도를 보이고 성막 두께에 따른 가시광선 투과율의 차이도 거의 없었다. 이러한 가시광선 영역대에서의 높은 투과율은 기능성 광학필터나 기능성 차단 코팅 소재에 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 결론

ALD 법으로 투명한 석영 기판에 TiO_{2-x}를 10~50 nm의 두께로 증착하여 나노급 박막을 성공적으로 제조하였다. 두께 40 nm 이하의 TiO_{2-x} 박막은 비정질상이 형성되었고 50 nm부터 Ti₅O₉의 준안정상이 형성되었다. ALD 법으로 석영 기판 위에 완성된 나노급 TiO₂ 박막은 기존의 TiO₂에 비해 실험 범위내의 모든 두께에서 197 nm와 250 nm의

단파장대 자외선을 흡수하는 새로운 가능성이 있었다. 또한 나노급 두께에 따라 기판과 비슷한 정도로 가시광선 투과율도 우수하였다. 따라서 제안된 ALD 법을 이용한 TiO_{2-x} 박막은 인체에 해로운 단파장 자외선 영역을 더욱 효과적으로 조절하고 가시광선 영역에서는 투과율이 향상된 기능을 가졌음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] D. H. Kim, J. J. Kim, J. W. Kim, J. Electrochem. Soc. 143, L188 (1996).
- [2] J. T. Hillman, M. J. Rice, Jr., D. W. Studiner, R. F. Foster, R. W. Fiordalice, VMIC Conference, p 246(unpublished), (1992).
- [3] S. H. Kim, D. S. Chung, K. C. Park, K. B. Kim, S. H. Min, J. Electrochem. Soc. 146, 1455 (1999).
- [4] J. B. Kim, Kor. J. Mat. Res., 12, 6 (2002).
- [5] Alexander E. Braun, Semiconductor International (2001).
- [6] T. Suntola, Thin Solid Films 216, 84 (1992).
- [7] T. Suntola, M. Mohai, J. L. Sullivan, S. O. Saied, Appl. Surf. Sci. 84, 357 (1995).
- [8] S. H. Won, B. K. Ahn, D. G. Cha, M. J. Kim, H. J. Shin, J. G. Lee, J. Y. Kim, The 13th Kor. Conference on Semiconductor 64 (2006).
- [9] G. U. Oertzen, A. R. Gerson, J. Phys. Chemi. Sol., in press (2007)
- [10] V. Petkov, G. Holzhter, U. Troge, Th. Geeber, B. Himmel, J. Non-Crys. Sol., 231, 17-30, (1998)
- [11] D. R. Askeland, The Science and Engineering of Materials, 3rd, p. 600-603, PWS publishing Company, Boston (1994)
- [12] M. Marezio, D. Tranqui, S. Lakkis, C. Schlenker, Physical Review B, 16, 6, 2811-2821 (1977)

한 정 조(Jo-Jeung Han)

[준회원]

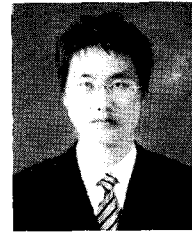


- 1984년 2월 : 성균관대학교 금속공학과 (공학사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 신소재공학과 석사과정

<관심분야>
나노 소재, 반도체 재료

윤 기 정(Ki-Jeong Yoon)

[준회원]



- 2006년 2월 : 서울시립대학교 신소재공학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 신소재공학과 석사과정

<관심분야>
반도체 재료, 박막 분석

송 오 성(Oh-Sung Song)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 금속공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 금속공학과 (공학석사)
- 1994년 5월 : MIT 재료공학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 신소재공학과 교수

<관심분야>
반도체 재료, 자성 재료

류 지 호(Ji-Ho Ryu)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교(공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교(공학 석사)
- 1995년 8월 : 서울대학교(공학 박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차개발전공 교수

<관심분야>

반도체 재료, 부품설계/개발