

論文97-34D-6-7

MOCVD 법에 의해 증착된 TiO₂ 박막의 결정구조 및 광학적 특성

(Structural and Optical Properties of TiO₂ Films Deposited by MOCVD)

張東勳*, 姜聲俊*, 尹英燮*

(Dong Hoon Jang, Seong Jun Kang, and Yung Sup Yoon)

요 약

MOCVD 법을 이용하여 TiO₂ 박막을 제작하여, 기판온도에 따른 박막의 결정화 특성 및 미세구조를 관찰하였다. 또, 투과곡선을 비교적 간단하게 분석할 수 있는 포락선방법을 사용하여 기판온도에 따른 TiO₂ 박막의 굴절률, 소광계수 등의 광학적 상수들을 구하였다. 투과곡선의 모사를 실시하여 포락선방법으로 구한 값들이 매우 신뢰도가 높음을 입증하였다. TiO₂ 박막은 350°C 에서 부터 결정화가 되기 시작하여, 400°C 이상에서 tetragonal structure 를 갖는 anatase 상으로 완전히 결정화됨을 알 수 있다. 기판온도에 따른 증착률을 Arrhenius plot 하여 구한 활성화에너지는 reaction limited 단계에서 17.8 kcal/mol 이었다. 포락선방법을 이용하여 구한 TiO₂ 박막의 굴절률 ($\lambda = 632.8$ nm) 은 기판온도가 400°C 에서 600°C 로 증가함에 따라 2.19 에서 2.32 로 증가하는 추세를 나타내었고, 소광계수는 0.021 에서 0.007 로 감소하는 추세를 나타내었다.

Abstract

TiO₂ thin films have been grown by MOCVD and their characteristics of crystallization and microstructures have been investigated. Envelope methods are applied to the analysis of the transmission spectra to obtain the optical constants such as refractive indices and extinction coefficients for the TiO₂ thin films. The envelope methods are proved to be accurate by simulating the transmission spectra. TiO₂ thin films start to crystallize at 350°C and then crystallize fully into anatase phase at 400°C or higher temperatures. Activation energies are obtained by plotting the deposition rate with varying the substrate temperature. It is 17.8 kcal/mol for the reaction limited regions. The refractive index and the extinction coefficient of the TiO₂ thin film at $\lambda = 632.8$ nm increases from 2.19 to 2.32 and decreases from 0.021 to 0.007, respectively, as the substrate temperature increases from 400 to 600°C.

I. 서 론

Titania (TiO₂) 박막은 물리적 및 화학적으로 안정하고, 가시광 영역에서 투과성이 높고 굴절률이 크기

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科
(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

※ 본 연구는 1997년도 인하대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

接受日字: 1996年9月23日, 수정완료일: 1997年6月5日

때문에 AR (Anti-Reflection) coating 용 재료 등과 같은 광학 박막으로 응용되고 있고,^[1] 비유전률 ($\epsilon_r = 80 \sim 100$) 이 비교적 크기 때문에 MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 소자의 gate dielectric 으로도 응용이 가능하다.^[2] 또, TiO₂ 박막은 전자, 통신 산업의 기술 고도화를 위한 핵심부품으로 그 중요성을 더해가고 있는 센서들중 특히 각종 gas 들과 습도를 검출하는데 쓰이는 가스센서, 습도센서에 응용되어지고 있다.^[3-4] 그리고, 최근에 큰 관심을 끌고 있는 perovskite 강유전체 (PLT, PZT, BST 등) 의 주요

구성성분으로도 중요한 재료이다. TiO₂ 박막은 세가지의 결정상을 가지는데, tetragonal 상인 rutile (a=4.593 Å, c=2.959 Å) 및 anatase (a=3.785 Å, c=9.514 Å) 와 orthorhombic 상인 brookite (a=5.456 Å, b=9.182 Å, c=5.143 Å) 이다.^[5] Rutile 상은 다른 두가지에 비해 광학적 성질이 더 우수하고 열적으로 안정하기 때문에 광학적 특성에 관한 많은 연구가 이루어져 왔으나, anatase 상과 brookite 상에 대한 연구는 상대적으로 미비한 편이었다. 그러나, 최근에 준안정상인 anatase 가 고효율 광화학 태양 전지에서의 injection process 에 중요한 역할을 하는 것이 알려짐에 따라^[6] 물리적 및 광학적 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. TiO₂ 박막을 성장시키는 방법들에는 sol-gel 법,^[7] reactive rf sputtering 법,^[8] ion assisted deposition 법,^[9] MOCVD 법,^[10] 등이 이용되었으나, 그 중 MOCVD 법은 막 성장속도가 빠르고, 조성제어가 용이하며, 막 성장중에 결함이 생기지 않는 양질의 막을 제작할 수 있고, step coverage 가 우수하다는 많은 장점을 가지고 있어 실용적인 면에서 가장 우수한 증착방법이다.

본 연구에서는 TiO₂ 박막을 MOCVD 법으로 증착하여, 기판온도에 따른 박막의 결정화 및 미세구조를 조사하고, 투과곡선을 비교적 간단하게 분석할 수 있는 포락선 방법을 이용하여 기판온도에 따른 TiO₂ 박막의 광학적 특성을 조사하였다.

II. 실험방법

본 연구에서 TiO₂ 박막을 증착시키기 위하여 사용한 MOCVD 장치의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다.

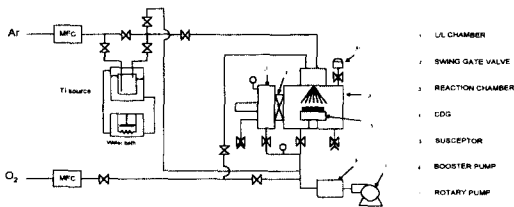


그림 1. TiO₂ 박막 증착을 위한 MOCVD 개략도
Fig. 1. The schematic diagram of the MOCVD for TiO₂ thin film.

Fig. 1 에서 보듯이 MOCVD 장치는 cold-wall 형의 증형으로서, 크게 gas controller 부, 원료기화부,

반응실의 세부부분으로 구성되어 있다. Source 물질로는 titanium tetraisopropoxide (IV) (99.9%) 를 사용하였고, Ar gas (99.99%) 와 O₂ gas (99.99%) 를 각각 carrier gas 와 산화성 gas 로 사용하였다. Gas controller 부에서는 source 물질의 증기를 운반하기 위한 carrier gas 와 산화물 형성에 도움을 주는 산화성 gas 의 유량을 mass flow controller (MFC) 로 제어한다. 원료기화부에서는 source 의 온도를 공정에 적합한 온도로 유지시켜 준다. 적합한 온도로 기화한 source gas 가 carrier gas 에 의해 반응실로 보내어지고 반응실 입구에서 O₂ gas 와 혼합된다. 또한, 가열된 source gas 가 반응실로 유입될때에 가스라인에 응축될 우려가 있으므로, 열선을 이용하여 source 온도 이상의 온도로 유지하여 원료기화부와 가스라인의 온도차이에 의해 생길 수 있는 응축을 방지하였다. TiO₂ 박막증착에 사용된 기판은 SiO₂ (2000 Å)/(100) Si 과 sapphire 이다. 증착전에 기판 표면에 존재할 수 있는 유기물 제거를 위하여 TCE (trichloroethylene), acetone, isopropanol 그리고 D.I water 를 이용하여 세척을 한 후, 건조 N₂ gas 를 사용하여 기판을 건조시켰다. 세척 과정을 거친 기판을 susceptor 위에 올려놓은 후 rotary pump 와 booster pump 를 이용하여 반응실 압력을 10⁻⁴ Torr 까지 낮춘 후, 기판의 온도를 증착 온도까지 올리고 가열 온도가 정상상태에 도달하면, source gas 와 O₂ gas 를 유입시켜 박막 증착을 하였다. 증착 완료후 반응실 압력을 10⁻⁴ Torr 의 base pressure 로 유지한 후 약 20분간 pumping 후 Ar gas 로 purging 하였다. MOCVD 에 의한 TiO₂ 박막의 증착 조건을 Table 1 에 나타내었다.

표 1. TiO₂ 박막의 증착조건
Table 1. Deposition conditions for TiO₂ thin films.

	TiO ₂
Source material	Ti(O- <i>i</i> -C ₃ H ₇) ₄
Source temperature (°C)	32
Carrier gas flow rate (sccm)	100
O ₂ gas flow rate (sccm)	50
Total reaction pressure (Torr)	5.24 × 10 ⁻¹
Substrate temperature (°C)	350~600

TiO₂ 박막의 결정화 특성분석을 위하여 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuK α) 를 이용하였고, 미세구조 관찰은 SEM 을 이용하였다. 광투과도 특성은 Spectrophotometer 를 이용하여 200 nm 에서 2000 nm 의 파장영역에서 측정되었고, 이를 포락선 방법에 적용하여 TiO₂ 박막의 광학적 특성을 조사하였다.

III. 결과 및 논의

Fig. 2 에 350, 400, 500, 600°C 에서 SiO₂/Si 기판 위에 as-deposit 된 TiO₂ 박막의 XRD pattern 들을 나타내었다.

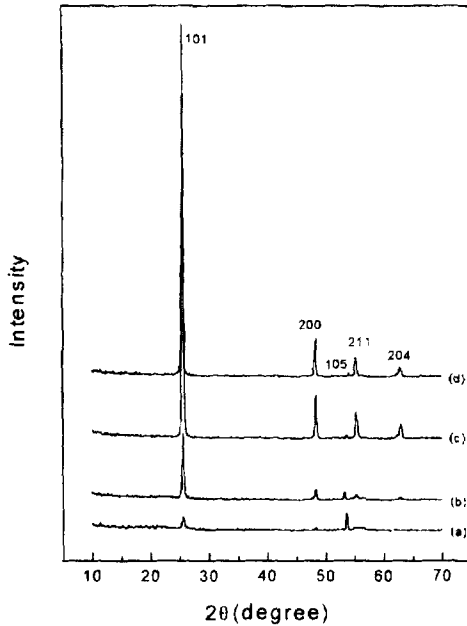


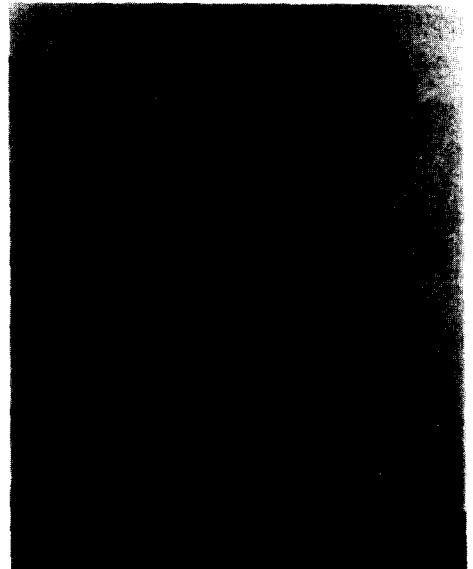
그림 2. 증착온도에 따른 TiO₂ 박막의 XRD pattern; (a) 350°C, (b) 400°C, (c) 500°C, (d) 600°C

Fig. 2. XRD patterns of TiO₂ thin films with various deposition temperatures; (a) 350°C, (b) 400°C, (c) 500°C, (d) 600°C.

Fig. 2 에서 보듯이 TiO₂ 박막은 다결정으로 성장되었고, 기판의 온도에 상관없이 tetragonal structure 를 갖는 anatase 상들만이 관찰됨을 알 수 있었다. 300°C 이하의 온도에서는 비정질 형태의 TiO₂ 박막이 형성되고, 350°C 이상의 온도에서부터 결정상의 TiO₂

박막이 형성된다. 그러나, 350°C 에서 증착된 TiO₂ 박막의 XRD peak 는 intensity 가 매우 낮아 TiO₂ 박막의 결정화가 완벽하지 않은 것으로 보이며, 400°C 이상에서 증착된 TiO₂ 박막부터 결정화가 완벽해지는 것으로 생각된다.

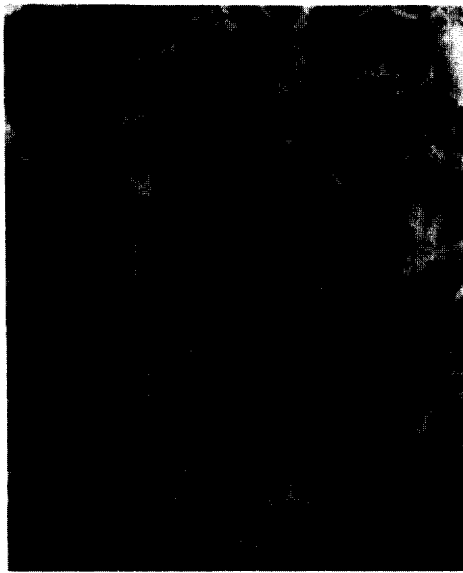
Fig. 3 에 350, 400, 500, 600°C 에서 SiO₂/Si 기판 위에 as-deposit 된 TiO₂ 박막의 SEM 표면사진을 나타내었다. 350°C 에서 증착된 TiO₂ 박막은 XRD 측정 결과에서도 알 수 있듯이 결정화가 완벽하게 이루어 지지 않았음을 볼 수 있다.



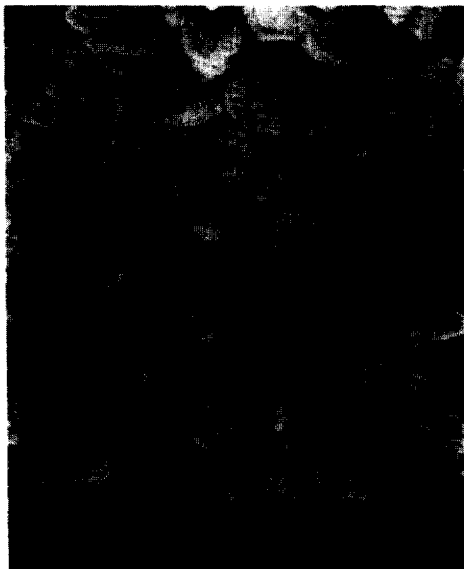
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. 증착온도에 따른 TiO₂ 박막의 SEM 표면 사진: (a) 35°C, (b) 400°C, (c) 500°C, (d) 600°C

Fig. 3. SEM micrographs of TiO₂ thin films with various deposition temperatures; (a) 35°C, (b) 400°C, (c) 500°C, (d) 600°C

400°C 에서 증착된 TiO₂ 박막은 완전히 결정화가 되었으며, grain size 가 약 0.2~0.3μm 정도이고 입자의 모양은 구형의 형태를 가진다. 기판의 온도가 400°C 를 넘어서면 입자의 크기가 약간씩 증가하는 것을 관

찰할 수 있었다.

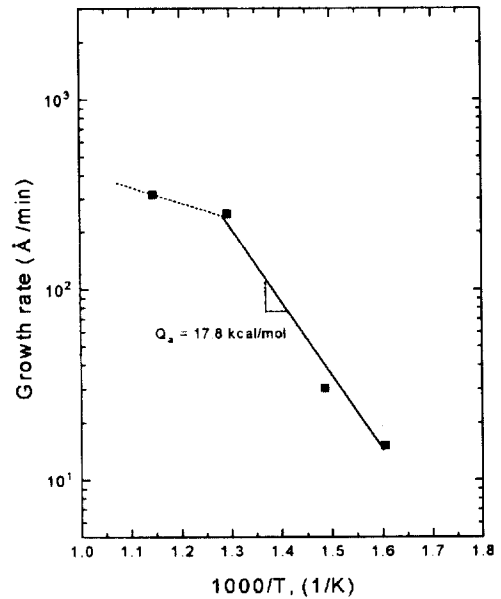


그림 4. TiO₂ 박막의 기판 온도에 따른 증착률의 Arrhenius plot

Fig. 4. Arrhenius plot of the growth rate vs. temperature of TiO₂ thin films on SiO₂/Si substrates.

TiO₂ 박막의 기판온도에 따른 증착률을 Arrhenius plot 하여 Fig. 4 에 나타내었다. 기판온도를 350°C 에서 600°C 로 변화시켜 가며 TiO₂ 박막을 성장시킨 결과 Fig. 4 에서 보듯이 TiO₂ 박막의 증착률은 기판온도에 따라 두가지 반응단계로 나눌수 있다. 첫 번째 반응단계는 500°C 이하의 영역에서 기판온도에 따라 증착률이 급격히 증가하는 reaction limited 단계이고, 두 번째 반응단계는 500°C 보다 고온영역에서 증착률이 단지 기판표면에서 reaction species 의 diffusion rate 에 의해 결정되어 기판온도에 따라 증착률이 상대적으로 느리게 증가하는 diffusion limited 단계이다. Reaction limited 단계에서의 TiO₂ 형성에 대한 활성화 에너지는 직선의 기울기로 부터 구할 수 있으며 약 17.8 kcal/mol 이었다.

일반적으로 TiO₂ 박막은 높은 투과도를 가지고 있어 광학 박막용 재료로 널리 응용되어지고 있다. Fig. 5 에 기판온도에 따른 TiO₂ 박막중에서, 500°C 에서 as-deposit 된 TiO₂ 박막의 투과도 곡선을 분광광도계 (spectrophotometer) 로 측정된 결과를 나타내었

다. 파장에 따라 약간의 차이는 있으나, 약 80% 이상의 투과율을 나타내고 있다. 그러나, 기판자체의 투과율이 약 85% 임을 고려하면 TiO₂ 박막은 90% 이상의 투과율을 가짐을 알 수 있다. Fig. 5 에서 보듯이 가장 위의 실선은 sapphire 만의 투과도 곡선이며, TiO₂ 박막의 투과도 곡선의 출렁임은 두 계면 (공기-박막, 박막-기판) 사이의 간섭으로 인한 것이다. TiO₂ 박막의 투과도 곡선 ($T(\lambda)$) 은 두 점선으로 표시된 T_{max} 와 T_{min} 에 의해 둘러 쌓여지고, 기판의 투과도 곡선과 T_{max} 사이의 차이는 분산이나 흡수로 인한 빛의 손실을 나타내는 것이다.

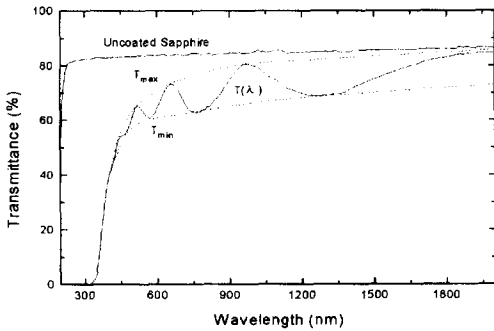


그림 5. 사파이어 기판과 500°C에서 사파이어 기판에 증착된 TiO₂ 박막의 광투도 곡선 (점선 : 포락선)

Fig. 5. Optical transmission spectrum of TiO₂ thin film deposited on sapphire at 500°C and the uncoated substrate. The envelope curves are shown as the dashed curves.

TiO₂ 박막의 광학적 특성은 Fig. 5 에 나타낸 투과 곡선을 비교적 간단하게 분석할 수 있는 포락선 방법을 이용하여 구하였다. 포락선 방법은 약한 흡수성을 갖는 절연막의 광학적 특성을 연구하는데 매우 유용한 방법이다. 투명하고 semiinfinite 한 기판위에 증착된 단층 박막의 투과도는 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다. [11]

$$T = \frac{16 n_s n^2 x}{(1+n)^2(n+n_s)^2 - 2x[(n^2-1)(n^2-n_s^2)]\cos(\gamma) + (n-1)^2(n-n_s)^2 x^2} \quad (1)$$

여기서 n_s 는 기판의 굴절률, n 은 박막의 굴절률이며 x 는 식 (2) 와 같이 표현된다.

$$x = \frac{(n+1)(n+n_s)[\sqrt{T_{max}'/T_{min}'}-1]}{(n-1)(n-n_s)[\sqrt{T_{max}'/T_{min}'}+1]} \quad (2)$$

그러나, 기판의 back-surface 에서 생기는 빛의 손실을 고려하면, 박막의 투과도는 식 (3) 과 같이 변형된다. [12]

$$T = T'(1-r_3) \quad (3)$$

여기서, r_3 는 공기와 기판의 back-surface 에서 생기는 반사도이며 $(n_s-1)^2/(n_s+1)^2$ 과 같다. 식 (1) 을 정리하면 박막의 굴절률은 식 (4) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \quad (4)$$

여기서, $N = 0.5(1+n_s^2) + 8n_s^2/(n_s+1)^2 \times (T_{max}-T_{min})/(T_{max}T_{min})$ 이다.

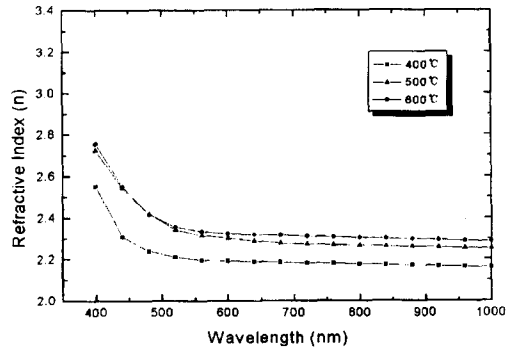


그림 6. TiO₂ 박막의 증착온도와 파장에 따른 굴절률 특성

Fig. 6. Refractive indices of TiO₂ thin films as a function of wavelength and for different deposition temperatures.

식 (4) 를 사용하여 400, 500, 600°C 에서 as-deposit 된 TiO₂ 박막의 파장에 따른 굴절률을 구하여 Fig. 6 에 나타내었다. Fig. 6 에서 보듯이 기판 온도가 400°C 에서 600°C 로 증가함에 따라 굴절률 ($\lambda = 632.8$ nm) 은 2.19 에서 2.32 로 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 기판 온도의 증가에 따라 박막의 치밀도와 crystallinity 가 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 기판온도의 증가에 따라 굴절률이 증가하는 추세는 다른 연구에서도 보고된 바가 있다. [13] 본 연구에서 구한 굴절률의 범위 (2.19~2.32) 는 T. Fuyuki 등 [2] 이 CVD 법으로 제작한 TiO₂ 박막의 굴절률 범위 (2.0~2.4) 와 잘 일치한다.

투과도 곡선에서, 두 인접한 곳의 최대값 (또는 최소

값) 에서 굴절률을 안다면, 박막의 두께는 다음의 식 (5) 를 통해 구해질 수 있다.

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2[n(\lambda_1)\lambda_2 - n(\lambda_2)\lambda_1]} \quad (5)$$

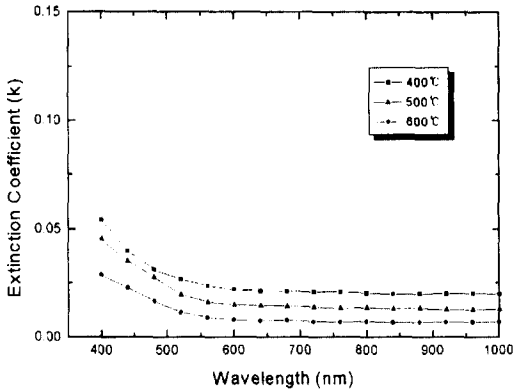


그림 7. TiO₂ 박막의 증착온도와 파장에 따른 소광 계수 특성

Fig. 7. Extinction coefficients of TiO₂ thin films as a function of wavelength for different deposition temperatures.

식 (5) 에서 구한 TiO₂ 박막의 두께와 $x = \exp(-\alpha d)$, $\alpha = 4\pi k / \lambda$, 식 (2) 를 이용해 파장에 따른 TiO₂ 박막의 소광계수를 계산하여 Fig. 7 에 나타내었다. TiO₂ 박막의 소광계수 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) 는 기판온도가 400°C 에서 600°C 로 증가함에 따라 0.021 에서 0.007 로 감소하는 추세를 나타내었다. 이 결과는 M. H. Suhail 등^[5]이 sputtering 법으로 성장시킨 TiO₂ 박막의 소광계수의 추세와는 상반되는 결과이다. 이는 sputtering 법을 이용한 경우, 기판온도가 증가함에 따라 박막의 증착률이 증가하기 때문에 산소부족에 의해 표면 거칠기가 심하게 되어 소광계수가 기판온도에 따라 증가하지만 MOCVD 법의 경우, 기판온도가 증가해도 일정한 산소공급량이 있으면 표면거칠기에 크게 영향을 주지 않기 때문인 것으로 생각된다.

위에서 구한 광학적 상수 (굴절률, 소광계수) 를 Heaven's method^[11] 에 적용시켜 투과곡선의 모사를 실시하였다. Fig. 8 에 500°C 에서 as-deposit 된 TiO₂ 박막의 측정된 투과곡선과 이를 모사한 곡선을 함께 나타내었다. Fig. 8 에서 보듯이, 모사를 이용하여 구한 투과곡선이 측정된 투과곡선과 매우 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 이는 포락선 방법으로 구한 굴절률과 소광계수 등의 광학적 상수값이 큰 신뢰도를

가지고 있음을 보여주는 것이다.

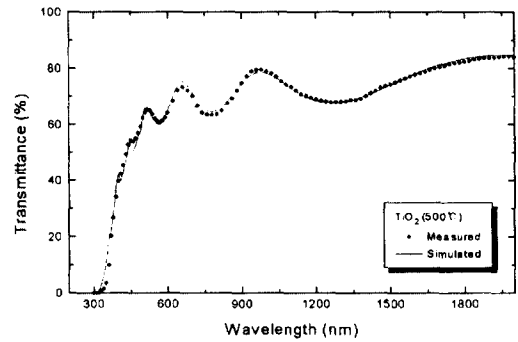


그림 8. 500°C에서 증착된 TiO₂ 박막의 실험적인 투과도 곡선과 모사된 투과도 곡선의 비교

Fig. 8. Experimental and simulated transmission spectra of TiO₂ thin film deposited at 500°C.

IV. 결 론

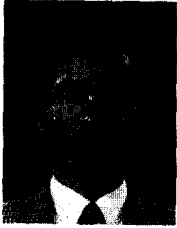
MOCVD 법을 이용하여 TiO₂ 박막을 제작하여, 기판온도에 따른 박막의 결정화 특성 및 미세구조를 관찰하였다. 또, 투과곡선을 비교적 간단하게 분석할 수 있는 포락선방법을 사용하여 기판온도에 따른 TiO₂ 박막의 굴절률, 소광계수 등의 광학적 상수들을 구하였다. 투과곡선의 모사를 실시하여 포락선방법으로 구한 값들이 매우 신뢰도가 높음을 입증하였다. XRD 와 SEM 을 이용하여 TiO₂ 박막의 결정화와 미세구조를 관찰한 결과, 300°C 이하의 온도에서는 비정질의 박막이 형성되고, 350°C 에서는 결정화가 완전하지 않음을 볼 수 있었다. 400°C 이상에서부터 결정화가 완전하게 이루어져 tetragonal structure 인 anatase 상들이 관찰되었다. TiO₂ 박막의 기판온도에 따른 증착물을 Arrhenius plot 하여, TiO₂ 박막의 증착률이 500°C 이하에서 기판온도에 따라 급격히 증가하는 reaction limited 단계와 500°C 보다 고온영역에서 증착률이 기판온도에 따라 상대적으로 느리게 증가하는 diffusion limited 단계로 나누어져 있음을 알 수 있었다. Reaction limited 단계에서의 TiO₂ 형성에 대한 활성화 에너지는 약 17.8 kcal/mol 이다. Spectrophotometer 로 투과곡선을 측정한 결과, TiO₂ 박막은 90% 이상의 투과도를 가지는 것이 확인되었고 이는 광학박막으로 응용될 수 있는 가능성을 보여주는 것이다. 포락선방법을 이용하여 구한, TiO₂ 박막의 굴절률

($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) 은 기판온도가 400°C 에서 600°C 로 증가함에 따라 2.19 에서 2.32 로 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 기판 온도의 증가에 따라 박막의 치밀도와 crystallinity 가 증가하기 때문인 것으로 생각된다. TiO₂ 박막의 소광계수 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) 는 기판온도가 400°C 에서 600°C 로 증가함에 따라 0.021 에서 0.007 로 감소하는 추세를 나타내었다. 이 결과는 Suhail 등이 sputtering 법으로 성장시킨 TiO₂ 박막의 소광계수의 추세와는 상반되는 결과이다. 이는 MOCVD 법의 경우는 sputtering 법과는 달리, 기판온도가 증가해도 일정한 산소공급량이 있으면 표면거칠기에 크게 영향을 주지 않기 때문인 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] B. E. Yoldas, T. W. O'Keeffe, "Antireflective coatings applied from metal-organic derived liquid precursors", *Applied Optics*, **18**, 18, 3133 (1979).
- [2] T. Fuyuki, H. Matsunami, "Electronic properties of the interface between Si and TiO₂ deposited at very low temperature", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **25**, 9, 1288 (1986).
- [3] Y. Seng-Lu, et al., "ZrO₂-TiO₂ ceramic humidity sensors", *J. Mater. Sci.*, **26**, 631 (1991).
- [4] Yuan-Chang Yeh, Tseung-Yuen Tseng, De-An Chang, "Electrical Properties of TiO₂-K₂Ti₆O₁₃ porous ceramic humidity sensor", *J. Am. Ceram. Soc.*, **73** (7) 1992 (1990).
- [5] M. H. Suhail, G. Mohan, S. Mohan, "dc reactive magnetron sputtering of titanium-structural and optical characterization of TiO₂ films", *J. Appl. Phys.*, **71** (3), 1421 (1992).
- [6] H. Tang, K. Prasad, R. Sanjines, P. E. Schmid, F. Levy, "Electrical and optical properties of TiO₂ anatase thin films", *J. Appl. Phys.*, **75** (4), 2042 (1994).
- [7] T. Yoko, K. Kamiya, A. Yuasa, K. Tanaka, S. Sakka, "Surface modification of a TiO₂ film electrode prepared by the sol-gel method and its effect on photoelectrochemical behavior", *J. Non-cryst. Sol.*, **100** 483 (1988).
- [8] K. Okimura, A. Shibata, N. Maeda, K. Tachibana, "Preparation of rutile TiO₂ films by RF magnetron sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34**, 9A, 4950 (1995).
- [9] J. R. McNeil, G. A. Al-Jumaily, K. C. Jungling, A. C. Barron, "Properties of TiO₂ and SiO₂ thin films deposited using ion assisted deposition", *Applied Optics*, **24**, 4, 486 (1985).
- [10] S. Chen, et al., "Ultrahigh vacuum metalorganic chemical vapor deposition growth and *in situ* characterization of epitaxial TiO₂ films", *J. Vac. Sci. Technol.*, **A 11**(5), 2419 (1993).
- [11] O. S. Heavens, "Optical Properties of Thin Solid Films", Dover, New York, 46~95 (1955).
- [12] C. H. Peng, J. F. Chang and S. B. Desu, "Optical Properties of PZT, PLZT, and PNZT Thin Films" *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **243**, 21~26 (1992).
- [13] B. E. Yoldas, "Deposition and properties of optical oxide coatings from polymerized solutions", *Applied Optics*, **21**, 16, 2960 (1982).

— 저 자 소 개 —



尹英燮(正會員)

1952년 9월 7일생. 1975년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월 한국과학기술원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 12월 U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph.D). 1987년 3월 ~ 1988년 5월 Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월 ~ 1989년 6월 UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월 ~ 1992년 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1996년 4월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야는 ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device.



姜聲俊(正會員)

1965년 7월 10일생. 1989년 2월 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 8월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1994년 9월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심분야는 DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서



張東勳(正會員)

1971년 3월 13일생. 1995년 2월 수원대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1995년 3월 ~ 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야는 ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막