

RF 마그네트론 스퍼터링에서 증착거리와 증착온도가 무기 액정 배향막의 물리적 성질에 미치는 영향에 대한 연구

박정훈 · 손필국 · 김기범* · 박혁규*†

부산대학교 전자공학학부

*부산대학교 물리학과

Influences of Target-to-Substrate Distance and Deposition Temperature on a-SiO_x/Indium Doped Tin Oxide Substrate as a Liquid Crystal Alignment Layer

Jeung Hun Park, Phil Kook Son, Ki Pom Kim* and Hyuk Kyu Pak*†

School of Electronics Engineering, Pusan National University, Busan 609-735

*School of Physics, Pusan National University, Busan 609-735

(2008년 7월 23일 접수 : 2008년 9월 4일 최종수정 : 2008년 10월 7일 채택)

Abstract We present the structural, optical, and electrical properties of amorphous silicon suboxide (a-SiO_x) films grown on indium tin oxide glass substrates with a radio frequency magnetron technique from a polycrystalline silicon oxide target using ambient Ar. For different substrate-target distances ($d = 8$ cm and 10 cm), the deposition temperature effects were systematically studied. For $d = 8$ cm, oxygen content in a-SiO_x decreased with dissociation of oxygen onto the silicon oxide matrix; temperature increased due to enlargement of kinetic energy. For $d = 10$ cm, however, the oxygen content had a minimum between 150 °C and 200 °C. Using simple optical measurements, we can predict a preferred orientation of liquid crystal molecules on a-SiO_x thin film. At higher oxygen content ($x > 1.6$), liquid crystal molecules on an inorganic liquid crystal alignment layer of a-SiO_x showed homogeneous alignment; however, in the lower case ($x < 1.6$), liquid crystals showed homeotropic alignment.

Key words silicon suboxide; a-SiO_x; indium tin oxide (ITO); RF-magnetron sputtering; alignment layer; liquid crystal display.

1. 서 론

산화 규소(SiO₂)는 밴드갭이 큰 절연성 물질로 가시광선 영역에서 투명성을 갖는 물질로 알려져 있다. 전기적 성질은 화학양론성(Stoichiometry), 미세구조에 의해 변한다. 일반적으로 결정화 된 Si : O의 비가 1 : 2인 화학양론적인 화합물인 SiO₂의 경우 비저항이 크고 화학적으로 안정하다. 그러나 대부분의 SiO_x 물질은 비화학양론성(non-stoichiometry)을 가지며 규소와 산소의 조성비 x 도 0에서부터 2까지 넓은 범위의 값을 가진다. 순수한 SiO_x의 전기적인 성질은 산소의 농도에 따라서 좌우되지만, 산소분압 조절을 통하여 비화학양론성(nonstoichiometry) 상태로 변화시킬 수 있고, 이에 따라 가시광선의 영향을 받지 않는 태양전지의 protection layer, 박막 영상표시 장

치의 semi-insulating 물질로 활용되어 왔다. 그러나 결정화된 산화 규소(c-SiO_x) 박막의 제조는 경제적으로 많은 비용과 시간을 요구한다.

비정질 산화규소(a-SiO_x)는 소결성이 매우 낮아서 벌크 상태로는 고밀도 제조가 어렵고, 다공성 상태로 존재하여 응용의 한계가 있어서 박막화를 통한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 응용분야가 집적화 기술과 관련되어 영상표시분야와 전자부품분야로 집중되며 비정질 SiO_x 박막에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.^{1,2)} 비정질 산화규소 박막을 제조하는 방법으로는 metal-organic chemical-vapor deposition,³⁾ plasma-enhanced chemical vapor deposition,⁴⁾ sol-gel,⁵⁾ pulsed laser deposition,⁶⁾ 스퍼터링(sputtering),^{7,8,9)} ion implantation^{10,11)}과 같은 방법이 주로 사용되었다. 그 중에서도 마그네트론 스퍼터링 방법은 단순하면서도 여러가지 변수를 쉽게 제어할 수 있어 고품질의 a-SiO_x 박막을 제조할 수 있다는 장점이 있다.

산업적인 응용면에서 SiO_x 박막은 박막 영상표시 장치

†Corresponding author

E-Mail : hkpak@pusan.ac.kr (H. K. Pak)

성능을 좌우할 정도로 중요한 위치에 있다. 특히, 인듐을 첨가한 산화주석(indium doped tin oxide, ITO) 위에 증착된 비정질 산화규소 박막은 액정박막 표시장치, 플라즈마 영상 표시장치, 태양전지 등의 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 지금까지 많은 연구들이 있어왔지만, SiO_x 박막에 대한 연구는 Si-SiO_2 인터페이스에 대한 연구가 대부분이었다.^{12,13,14} 지금까지의 연구는 특정조건에서 성장한 a-SiO_x 박막의 사후 열처리(post-annealing)가 물리적인 성질에 미치는 영향이 주 관심사였다. 이에 반해 비정질 SiO_x 를 ITO위에 증착시 증착온도와 증착거리가 박막의 물리적인 성질에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 알려져 있지 않다.

이 논문에서는 a-SiO_x 박막을 마그네트론 sputtering법을 이용하여 ITO박막위에 증착할 때, 증착거리와 증착온도가 성장된 박막의 두께, 조성, 표면의 성질에 미치는 영향을 X선 회절법(X-ray diffraction), 주사전자현미경(scanning electron microscope), 원자현미경(atomic force microscope), 투과율 측정(optical transmittance measurement), 임피던스 측정(impedance spectroscopy)을 통하여 체계적으로 연구하였다. 이를 바탕으로 액정박막 표시장치에 액정 배향막 화학구조, 표면성질, 전기/광학적 성질을 증착거리와 증착온도의 변화만으로 제어할 수 있는지를 알아 보았다.

2. 실험 방법

a-SiO_x 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 순도 99.999%의 아르곤 가스를 30 sccm을 흘리며 ITO/glass기판위에 증착하였다. 증착전 기판은 증류수, 아세톤, 증류수 순으로 세정하고 건조하였다. 기판 장입전의 스퍼터 챔버 압력은 10^{-6} Torr을 유지시켰고, 기판 장입전에 깨끗한 박막을 얻기 위하여 5분간 pre-sputtering을 실시하였다. 타겟은 99.99% 순도의 다결정 SiO_2 산화물을 사용하였고, 증착시의 압력은 10^{-4} Torr, RF power는 100 W였다. 증착온도는 램프 가열방식을 이용하여 기판의 온도가 충분히 평형상태에 도착하기 기다린 후에 증착온도를 30°C 부터 300°C 까지 각각 변화시키면서 증착하였다. 증착하는 동안 박막의 균질성을 확보하기 위하여 기판은 20 rpm의 속도로 회전시켰다. 30분 증착시 두께는 증착조건들에 따라서 다르지만 일반적으로 50 nm에서 100 nm범위로 증착되었다. 이 실험에서는 단면 SEM측정을 통하여 박막의 증착율을 조사하였고 이를 바탕으로 a-SiO_x 박막의 두께를 50 nm로 고정하였다. Fig. 1은 실험에서 사용한 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템의 개략도이다. 여기서 증착거리 d 는 샘플과 타겟의 거리를 나타낸다. 실험에서 증착거리 d 는 8 cm와 10 cm, 증착온도 T 는 30, 100, 150, 200, 300°C 에서 ITO 유리기판

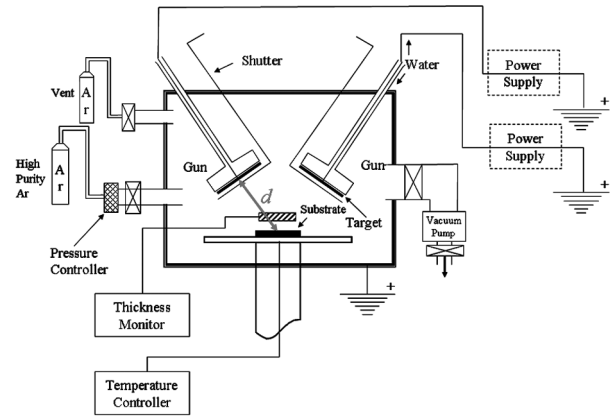


Fig. 1. Schematic diagram of an RF magnetron sputtering system.

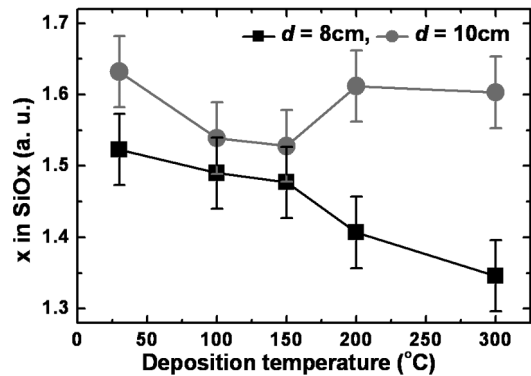


Fig. 2. The stoichiometry parameter x of a-SiO_x film as a function of the deposition temperature with the target-to-substrate distance as a parameter ($d = 8$ cm or 10 cm).

위에 증착된 SiO_x 박막의 성질을 연구하였다.

화학조성 분석을 위하여 VG Scientific사의 ESCALAB 250 X-ray photoelectron spectroscopy를 이용하여 온도에 따른 a-SiO_x 박막의 조성을 결정하였다. 사용된 X-ray 소스는 가속전압 10 kV, 가속전류 20 mA의 Al K radiation ($h\nu = 1486.6$ eV)을 이용하여 10^{-10} Torr에서 측정하였다. 사용된 X-ray빔의 원형 산란 단면적은 약 0.9 cm^2 였다. 빔의 입사 각도 및 photoelectron detector의 각도(take off angle)는 박막의 표면을 기준으로 45° 및 90° 에서 산란된 광전자의 빔의 세기를 반구형 분석장치(concentric hemispherical analyzer)를 이용하여 30 eV의 투과 에너지에서 측정하였다. X선 흡수곡선의 분석을 위하여 탄소 1s (284.6 eV)를 기준으로 증착된 박막의 상대적인 결합 에너지의 이동을 비교 하였다.

박막의 결정구조를 분석하기 위해서 Philips사의 X'Pert Pro X선 회절 분석기를 이용하여 가속전압 40 kV, 가속전류 30 mA에서 $\text{Cu K}\alpha$ radiation ($\lambda = 1.054056$ Å) 측정하였다. 회절된 빔의 스펙트럼은 상온(room temperature)에

서 일반적인 θ - 2θ 측정 방법으로 입사각도 10도에서부터 80도까지 0.05도 와 0.2 sec/step의 정밀도로 데이터를 수집하였다.

단면 분석을 통한 a-SiO_x 박막의 증착을 측정하기 위하여 주사전자현미경(SEM Hitachi S-4700)을 이용하였다. 증착된 박막의 표면성질(surface morphology)과 거칠기(surface roughness)는 Seiko사의 SPA 400 원자현미경(AFM)을 이용하여 비접촉(non-contact) 모드로 측정하였다. 팁에 의한 이미지의 손실을 최소화 하기 위해 새로운 팁을 이용 여러번 반복 실험을 하였다.

증착된 박막의 투과율은 Nikon 투과형 광학현미경 위에서 Shimadzu UV-3101PC 분광측정기를 통하여 가시광선 영역(400 nm to 780 nm)에서 측정하였다. 순수한 ITO/glass 기판을 이용하여 투과된 스펙트럼의 투과율 보정을 하였다.

Dielectric loss-voltage 측정은 HP 4294A 임피던스 측정기를 통하여 probe station 위에서 측정하였다. a-SiO_x 기판과 측정 프로브간에 접촉 저항을 줄이기 위해서 direct-current 스퍼터링 방법으로 2 mm 간격으로 약 50 nm 두께의 Au 전극을 마스크를 이용하여 증착 하였다. 측정 중에 small sinusoidal signal 50 mV (peak-to-peak)와 CW frequency 1 MHz의 펄스를 샘플에 인가한 후 IEEE 488 GPIB 인터페이스를 통해서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 ITO/glass 기판위에 성장된 a-SiO_x 박막의 조

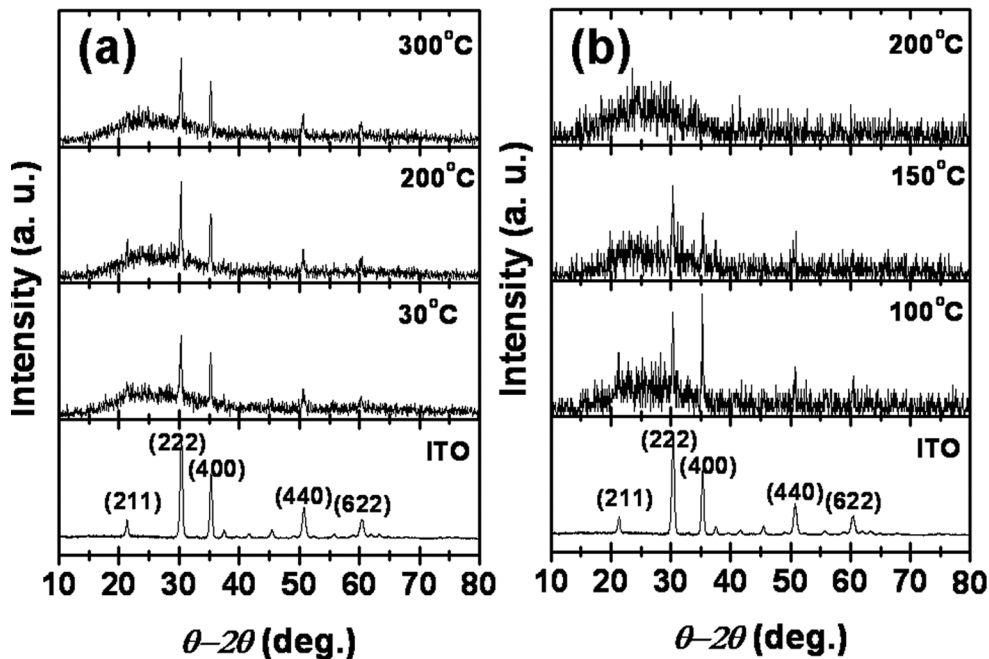


Fig. 4. X-ray diffraction spectra of a-SiO_x film with different deposition temperatures for (a) $d = 8$ cm and (b) $d = 10$ cm.

성비 x 를 증착온도와 증착거리별로 나타낸 그래프이다. XPS 흡수곡선 중 Si 2p와 O 1s을 이용하여 증착된 박막 표면의 조성비를 계산하였다. 일반적으로 측정된 흡수곡선에서 Shirley-background subtraction을 한 후 각각의 면적비와 atomic sensitivity factor (ASF)를 이용하여 조성비를 구하였다. 구한 조성비 x 는 다음과 같이 구할 수 있다.¹⁵⁾

$$x = \frac{I_o/S_o}{I_o/S_o + I_{Si}/S_{Si}} \quad (1)$$

여기서 I_o 와 I_{Si} 는 각각 산소와 규소의 측정된 흡수곡선의 세기를 나타내며, S_o 와 S_{Si} 는 산소와 규소의 ASF 값으로 실험에서는 2.93과 0.82가 사용 되었다.¹⁶⁾ 증착

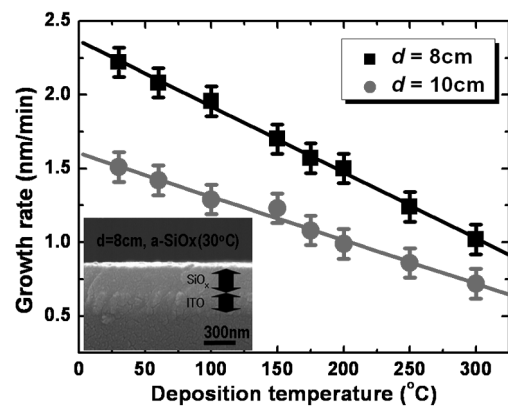


Fig. 3. Growth rate of a-SiO_x thin film as a function of the deposition temperature for different target-to-substrate distances ($d = 8$ cm and 10 cm).

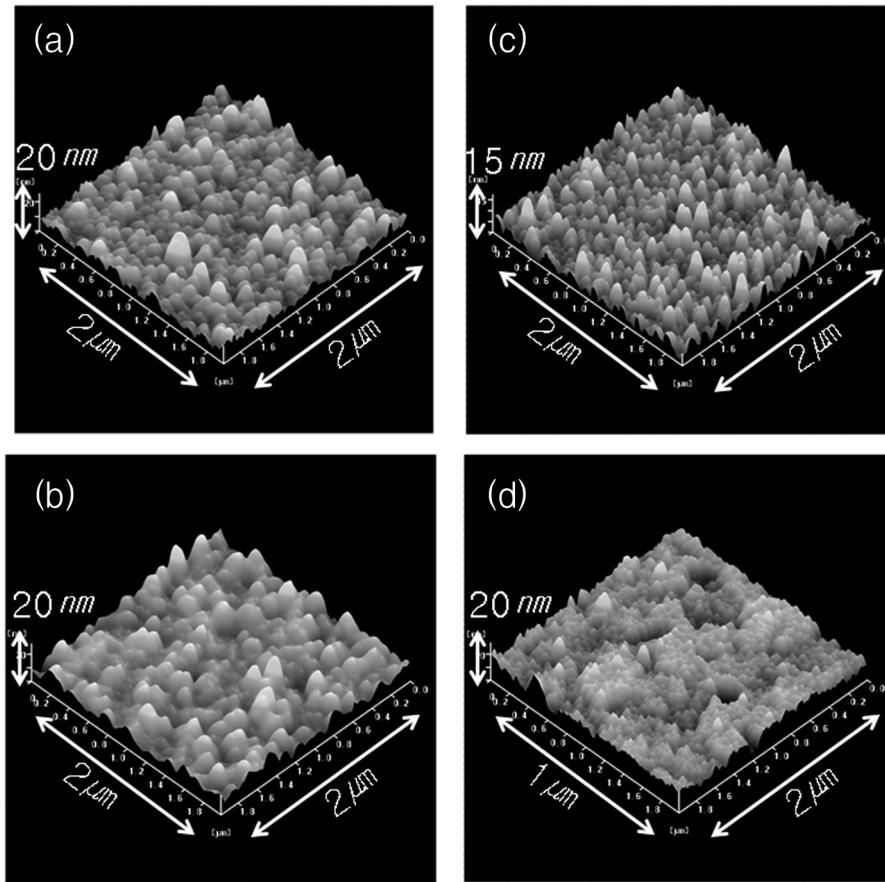


Fig. 5. Surface topography of a-SiO_x film; (a) 30 °C ($R = 3.0 \pm 0.1$ nm), $d = 8$ cm, (b) 300 °C ($R = 1.8 \pm 0.1$ nm), $d = 8$ cm, (c) 30 °C, ($R = 2.9 \pm 0.1$ nm), $d = 10$ cm and (d) 300 °C ($R = 1.5 \pm 0.1$ nm), $d = 10$ cm.

거리 $d = 8$ cm인 경우 조성비는 증착온도가 증가할수록 조성비는 1.52에서 1.34로 감소하는 경향을 보였다. 그러나 증착거리 $d = 10$ cm인 경우에는 150 °C를 기준으로 조성비가 변화하였다. 증착온도가 30 °C에서 150 °C로 증가함에 따라서 조성비 x 는 1.63에서 1.54까지 감소하였다. 증착온도 200 °C, 300 °C에서 성장된 a-SiO_x 박막의 경우에는 오히려 x 값이 1.54에서 1.64로 증가하였다.

Fig. 3은 온도와 거리에 따른 ITO기판위에 성장된 a-SiO_x 박막의 증착률을 나타낸 그래프이다. 삽입된 그림은 증착온도 $T = 30$ °C와 증착거리 $d = 8$ cm에서 90분 동안 성장시킨 a-SiO_x/ITO/glass 박막의 단면 SEM 이미지이다. 증착거리 10 cm에서 증착률은 분당 1.4 nm에서 0.7 nm로 온도가 30 °C에서 300 °C로 증가함에 따라서 감소하였다. 증착거리가 $d = 8$ cm인 경우 박막의 증착속도는 분당 2.2 nm에서 1.0 nm로 증착거리 10 cm인 경우보다 높은 증착속도를 보였다. 일반적으로 증착거리가 가까운 경우 샘플에 도달하는 단위 면적당 표적물질의 이온의 수는 증가한다. 따라서 증착거리가 감소할수록 박막의 증착률이 증가하는 것으로 보인다. 증착온도가 고온인 경우 이온이

가지고 있는 운동에너지가 증가하기 때문에 고온에서 증착률이 낮은 값을 보이게 된다. 그러나 높은 운동에너지에 의해서 ITO 박막의 표면과 완전하게 결합하여 안정화되기 전까지 표면 확산(surface diffusion) 거리는 증가하므로 박막의 표면의 거칠기 정도는 증착온도가 높을수록 감소할 것으로 예상된다. 상온에서 기체상태로 존재하는 산소의 경우 온도가 높아 질수록 증착률이 감소하는 것으로 알려져있다.¹⁷⁾

Fig. 4는 증착온도와 거리에 따른 X선 회절 실험 결과이다. 실험 결과와 비교를 위하여 순수한 ITO기판에 대한 X선 회절 결과를 추가적으로 표시하였다. ITO 결과에서 낮은 θ 순으로 (211), (222), (400), (440), (622) 회절면에 대한 피크를 나타낸다. ITO의 기판효과를 무시하면 증착거리 8 cm에서 성장시킨 a-SiO_x 박막의 경우 증착온도에 상관없이 비정질 구조를 보임을 알 수가 있다. 증착거리 10 cm인 경우에도 모든 박막이 비정질 박막으로 잘 성장된 것을 확인 할 수 있다. 그러나 온도가 증가할수록 ITO 회절면에 해당하는 peak의 세기가 감소하는 경향을 보이는데 이것은 온도가 증가할수록 Si-O-Si의 무

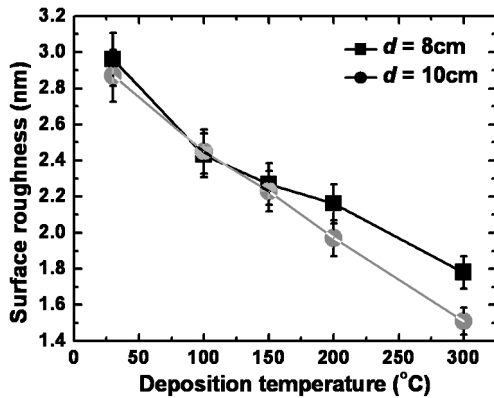


Fig. 6. Root-mean-square surface roughness as a function of deposition temperature for $d=8$ cm and 10 cm.

작위 결합(random bonding)의 정도가 증가하여 X선이 ITO 박막에서 Bragg회절 조건을 만족하고 산란된 광자가 $a\text{-SiO}_x$ 막을 통과하여 검출기에 도달하기전에 에너지를 다 잃어버리기 때문이라고 생각된다.

진공에서 증착하는 박막의 경우 ITO기판과 증착분자들(Si, O)간의 결합력이 증착분자들과 증착분자들(Si-O, Si-Si, O-O)과의 결합력보다 크면 $a\text{-SiO}_x$ 박막은 기판위에서 우선적으로 증착되어 막이 연속적으로 기판 위에서 Frank van der Merwe형태의 성장을 보이게 된다. 또한 ITO기판과 증착분자들의 결합력이 증착분자들간의 결합력보다 작으면 Si-O, Si-Si, O-O들의 결합인 좀 더 안정한 경우이므로 증착분자들간의 결합이 우선적으로 이루어져 Volmer-Werber형태의 SiO_x 박막이 성장하게 된다. 후자의 경우에는 입자 성장이 층별로 자라는 것이 아니라 입자들이 수직방향으로 우선해서 성장하여 입자간의 입계 구별이 뚜렷해지는 것으로 알려져 있다. Fig. 5는 비정질 형태로 증착된 박막의 증착온도와 증착거리에 따른 AFM 이미지를 나타낸 것이다. Fig. 5(a), (c)에서 30°C에서 증착한 박막의 표면사진을 보면 $a\text{-SiO}_x$ 가 뭉치는 형상을 볼 수가 있는데 이것은 기판과 증착분자들간의 결합보다는 증착분자들 사이의 결합이 좀 더 안정하여 박막이 완전하게 화학당량(stoichiometry)으로 결합되어 있기 보다는 비화학당량(non-stoichiometry)으로 결합이 부분적으로 $\text{Si}_{2-x}\text{O}_x$, SiO 형태의 결합으로 이루어져 있는 다형질 산화규소(silicon suboxide)박막이라고 생각된다. 증착온도가 증가 할수록 시스템의 운동에너지가 증가하기 때문에 입자내 혹은 grain boundaries를 통해서 규소가 확산되어 들어오거나 산소가 빠져 나가기 때문에 물질의 시편의 결합이 증가하게 되는데 이것이 비화학당량의 비율을 증가시킨다. 증가한 시편의 결합으로 인하여 박막 표면에 응력이 발생하게 되고 물질의 이동도를 향상시키는 결과를 가져온다. 따라서 Fig. 5(b), (d)의 결과를 보면 저온에서는 다수의 증착된 분자들이 뭉쳐있는 것과 달리 고온

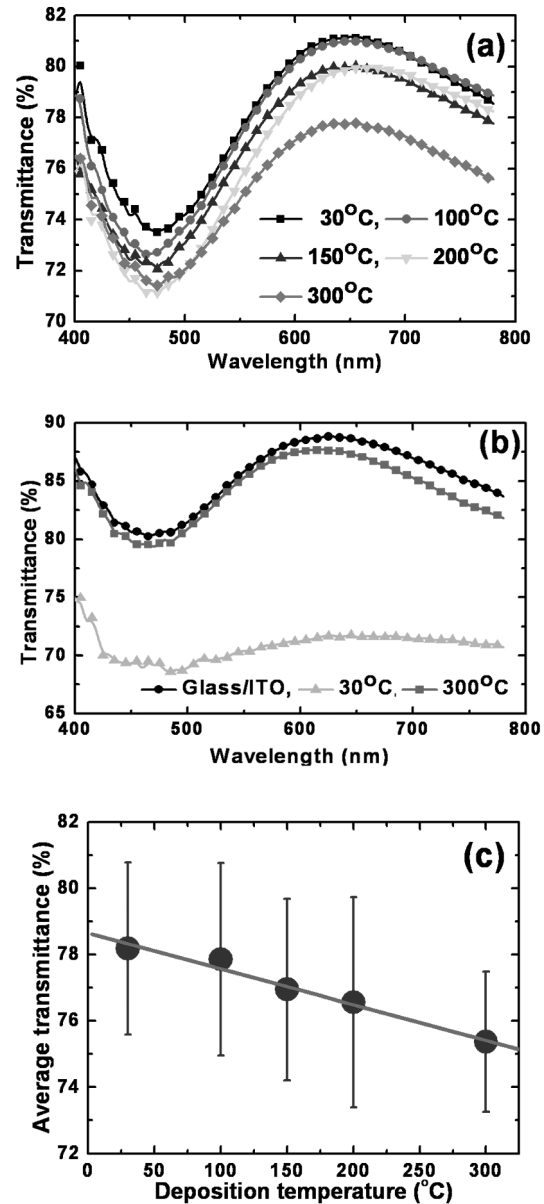


Fig. 7. Optical transmission spectra of deposited $a\text{-SiO}_x$ film for (a) $d=8$ cm, (b) $d=10$ cm, and (c) average transmittance of $a\text{-SiO}_x$ film for $d=8$ cm.

에서 증착한 $a\text{-SiO}_x$ 박막의 경우 표면에 발생한 응력을 완화시키기 위해서 박막의 표면이 균일한 형태로 변화되어 작은 소수의 증착분자들이 균일하게 뭉치게 되어 표면의 거칠기가 감소하는 결과를 가져오게 될것이라고 생각된다.

Fig. 6은 증착거리와 온도별로 AFM이미지를 바탕으로 표면 거칠기의 변화를 나타낸 그림이다. 증착거리 8 cm에서는 증착온도가 증가할수록 표면의 거칠기가 3.0 ± 0.1 nm에서 1.8 ± 0.1 nm로 감소하는 것을 알수가 있다. 또한 증착거리 10 cm인 시편들의 경우에도 증착온도가 증가함에 따라서 표면에 거칠기는 2.9 ± 0.1 nm에서 1.5 ± 0.1

nm로 감소하는 것을 볼수가 있다. 증착온도는 박막의 성장에서 미세구조 형성과 물리적 성질에 영향을 주며, 이는 표면확산(surface diffusion), 결정립 성장(grain aggregation)과 박막의 성장률(growth rate of the film)의 관계로부터 설명할 수 있다.¹⁸⁾ 타겟-기판거리에 상관없이 증착온도가 증가할수록 박막의 거칠기와 성장률은 감소하는 경향을 보인다. 저온에서 성장한 산화규소 박막의 경우 표면확산이 결정립성장보다 더 주요한 성장 미케니즘이기 때문에 박막의 증착률 또한 상대적으로 고온보다 높은 값을 가지게 된다. Fig. 3에서 나타난것 처럼 높은 박막 증착률로 인하여 증착되는 분자들과 표면확산에 의해서 이동하는 분자들의 상호작용이 증가하여 표면확산거리가 감소하게 된다. 따라서 기판에 증착된 분자들이 충분히 큰 결정립(grain)으로 성장하기 위한 시간을 가지지 못하기 때문에 표면의 거칠기는 높은 값을 가지게 된다. 그러나 증착온도가 증가할수록 입자의 운동에너지가 증가하기 때문에 증착물은 점점 감소하게 되는 반면 표면에 있는 분자들의 확산거리는 증가하게 되는데 따라서 분자들이 이동할 수 있는 충분한 시간을 가지게 된다. 따라서 높은 증착온도에서는 결정립 성장이 표면확산보다 더 주요한 성장 미케니즘이라고 생각할 수 있다. 고온에서 성장된 비정질 산화규소 박막의 결정립 성장에 의해서 거칠기가 감소한다고 유추할 수 있다. 결과적으로 낮은 증착온도에서는 높은 증착률과 낮은 표면확산 거리가 박막의 표면 형성에 주된 인자들이며, 고온에서는 긴 표면확산 거리, 낮은 박막 증착률과 결정립 성장이 성장된 박막의 물리적인 성질을 제어하는 주된 요인들 이라고 생각된다. 또한 증착온도가 증가할수록 박막 표면에 defects들을 제거하는 효과와 결정립이 성장하게 되는데 이는박막 표면에 dislocation density를 줄이는 결과를 가져오게 된다. 성장된 박막 표면의 거칠기는 박막의 전기적인 성질과 상관관계가 있을 것으로 보인다.¹⁹⁻²²⁾

일반적으로 a-SiO_x박막은 증착후 열처리 온도와 산소 함량에 의해 다양하게 나타난다.²³⁻²⁵⁾ Fig. 7(a)는 증착거리 8 cm에서 증착온도별로 가시광선 영역에서 a-SiO_x/ITO/glass 시편들의 투과율을 측정된 결과이다. Fig. 7(b)에서 평균 투과율은 증착온도가 30°C에서 300°C로 증가함에 따라서 79%에서 75%로 감소하였다. ITO/glass 기판의 경우 85%의 평균 투과율을 보인다. 따라서 a-SiO_x 박막의 경우에는 대략 6%에서 11%정도 투과율이 감소하는 것으로 보인다. 특히, 가시광선 파장 475 nm와 650 nm 영역에서 투과율의 차이가 분명하게 드러나는 것을 확인 할 수 있다. 가시광선 영역에서 SiO₂ 박막의 경우는 투명하거나 90%이상의 투과율을 보인다. 그러나 상대적인 산소 양 x가 줄어들수록 투과율이 급격하게 감소하는 경향을 보인다. Fig. 2에서 증착거리 d=8 cm인 박막의 경우 증착온도가 증가할수록 산소의 증착률이 감

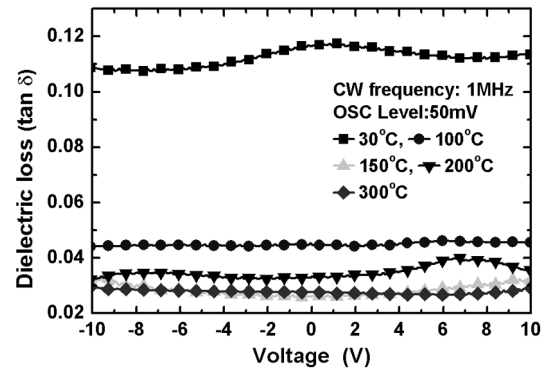


Fig. 8. Dielectric loss-voltage ($\tan\delta$ -V) characteristics of a-SiO_x thin film ($d = 8$ cm).

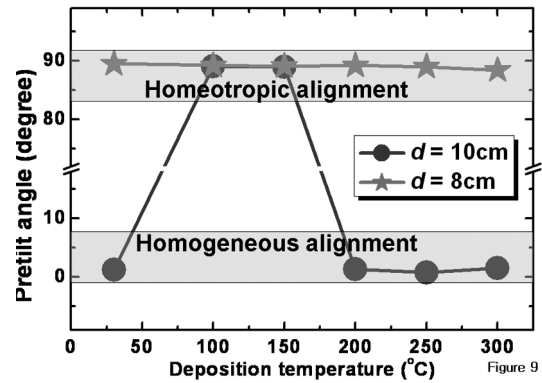


Fig. 9. Pretilt angle measurement of liquid crystal cells as a function of the deposition temperature for $d = 8$ cm and 10 cm.

소하여 x값이 감소하는 경향을 보인다. 따라서 가시광선 영역에서 성장된 박막의 투과도는 x값의 감소와 같이 낮아짐을 알수가 있다. 단순하게 성장된 박막의 광학적인 투과율 측정만으로 상대적인 a-SiO_x/ITO박막의 조성비의 변화 경향을 유추할 수 있다.

일반적으로 액정 영상표시 장치 작동전압은 수 볼트 이하이다. 따라서 인가전압에 따른 a-SiO_x절연막의 유전손실율을 측정하였다. 임피던스(impedance) Z는 교류에서의 저항으로 resistance와 reactance로 구성된다. Resistance는 임피던스의 실수 값이며 reactance는 임피던스 Z의 허수 부분의 값이다. 일반적으로 임피던스는 측정온도와 구동 주파수 의존성 특징을 보인다. 유전손실율(dielectric loss, $\tan \delta$)는 reactance와 resistance의 비를 나타낸다.

$$\tan \delta = \text{Rm}(Z)/\text{Im}(Z) \quad (2)$$

높은값의 $\tan \delta$ 을 가지는 박막의 경우 에너지 손실(energy dissipation)의 정도를 나타낸다. 일반적으로 $\tan \delta$ 의 값이 높을수록 좋은 도전막(insulating layer) 성질을 보인다. Fig. 8은 증착거리 8 cm에서 증착온도에 따른 dielectric

loss를 측정 한 결과이다. 유리기판위에 코팅된 SiO_x/ITO 이층박막위에 Fig. 8에서처럼 Au전극을 입혔다. 이때 전극간의 거리 간격은 10 mm로 고정하였다. 전극용 은(Ag) 페이스트를 완전히 건조시키뒤 probe station에 연결하여 일정한 인가 주파수(CW frequency) 1 MHz와 인가전압 50 mV에서 인가전압에 따른 Dielectric loss의 변화를 측정하였다. 인가전압은 -10 V에서 +10 V까지 변화시키면서 측정한 결과 dielectric loss는 인가전압에 독립적으로 변화하였다. 그러나 증착온도에 따른 변화를 살펴보면 30°C에 증착된 샘플은 0.11의 평균 손실율을 보였다. 그러나 증착온도 100°C 이상이 되면 dielectric loss는 대략 0.03에서 0.045 정도의 값을 가졌다. 증착온도에 증가함에 따라 dielectric loss의 값이 감소하는 경향을 보였다. 앞서 Fig. 2, 6, 7에 나타난 결과들도 증착온도에 조성비, 표면의 거칠기, 투과율들이 반비례하는 경향을 보인다. 비록 dielectric loss의 값이 증착온도에 따라 반비례하는 경향을 보이지만 a-SiO_x 박막이 가지는 구조적 특성으로 인하여 증착온도 150°C 이상에서는 dielectric loss는 비슷한 값을 보인다.

증착온도와 증착거리가 비정질 산화규소 무기막위에서 액정의 수직배향에 어떤 영향을 주는지를 확인하기 위하여, nematic 액정(Merck MLC-6088)을 이용하여 셀갭 4 um의 액정 셀(liquid crystal cell)을 제작하였다. Fig. 9는 증착온도와 증착거리에 따른 액정 셀의 선경사각을 crystal rotation method²⁶⁾와 magnetic null method²⁷⁾로 측정한 결과이다. 증착거리가 $d=8$ cm인 경우에는 증착온도와 상관없이 선경사각이 약 89도로 수직배향(homeotropic alignment)가 되었다. 그러나 증착거리가 $d=10$ cm인 경우에는 증착온도 100°C, 150°C를 제외한 나머지 온도에서는 선경사각이 2도 이하로 수평배향(Homogeneous alignment)가 되었다. X선 분광법을 바탕으로 증착거리가 8 cm인 경우에는 조성비 x 가 증착온도가 증가할수록 1.52에서 1.34로 감소하는 경향을 보이는데 액정셀에서는 수직배향 구간에 해당된다. 증착거리가 10 cm인 경우에 증착온도가 100°C와 150°C 인 경우에 각각 조성비 1.54와 1.53의 값을 보인다. 이 온도영역에서만 제작한 액정셀은 수직배향을 보였다. 나머지 액정셀은 액정이 선경사각의 0도에 가까운 값을 가지는 수평배향을 보였다. 본 연구에서는 조성비 약 1.6을 기준으로 높은 조성비($x > 1.6$)를 가지는 배향막의 경우 액정은 수평 배향을 보이며, 낮은 조성비($x < 1.6$)를 가지는 경우 액정을 배향막 위의 액정은 전체적으로 수직 배향을 보였다. 성장된 박막의 성질이 온도와 증착거리에 따라서 달라지는 이유로는 표면확산, 박막 증착률, 결정립 성장과 아울러 공정압력하에서 평균자유행로 변화에 따른 영향도 있을 것이라고 사료된다.²⁸⁾ 작업공정 10^{-4} Torr에서 평균자유행로의 온도 의존

성을 살펴보면 증착온도가 30°C에서 300°C로 증가할수록 평균자유행로 값은 약 8 cm에서 15 cm로 증가하게 된다. 공정압력하에서 짧은 증착거리 변화 $\Delta d=2$ cm 또한 성장된 박막 표면 물리적인 성질에 영향을 주는 한 원인임을 유추할 수 있다.

박막액정표시장치에서 액정 배향막으로 사용되는 $\text{a-SiO}_x/\text{ITO}$ 박막을 스퍼터링 과정에서 증착거리와 증착온도의 변화만으로 배향막의 전기, 광학, 표면적인 성질이 변화시킬 수 있었다. 이를 바탕으로 nematic액정을 이용한 액정셀에서 조성비의 값에 따라서 배향막에서의 액정분자들의 주된 배향방향을 제어할 수 있었다. 간단하게 광학적인 투과율 측정만으로 액정 배향막의 상대적인 조성변화, 표면의 거칠기 변화, 및 전기적인 성질변화를 알 수 있었고 이를 바탕으로 액정 분자의 수직/수평 배향여부를 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 액정 영상표시장치에 액정 배향막으로 사용되는 ITO가 증착된 유리기판위에 후막 SiO_x 의 증착온도와 증착거리별 성장특성을 조사하였다. X선 회절법을 통하여 ITO위에 성장된 절연막이 비정질 형태로 잘 성장되었음을 확인하였다. 증착온도가 증가할수록 박막의 성장속도가 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. SiO_x 박막 성장에서 타겟과 시료간의 거리와 증착온도가 낮을수록 박막의 속도가 증가함을 알수가 있었다. X선 분광법에 분석한 조성비는 증착거리가 8 cm인 경우 증착온도가 증가할수록 조성비는 1.52에서 1.34로 감소하는 경향을 보였다. 그러나 증착거리 $d=10$ cm인 경우에는 150°C를 기준으로 조성비가 변화하였다. 증착온도가 30°C에서 150°C로 증가함에 따라서 조성비 x 는 1.63에서 1.54까지 감소하였다. 증착온도 200도, 300도에서 성장된 SiO_x 박막의 경우에는 오히려 x 값이 1.54에서 1.64로 증가하였다. SiO_x 박막은 조성비 x 가 0에 가까울 수록 가시광선 영역에서 불투명한 광학적 성질을 보인다. 전기적, 광학적 특성변화는 박막의 조성비 변화와 동일한 경향을 보였다. 박막의 표면 거칠기는 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데 이것은 박막의 성장을 감소 경향과 동일 하였다. Nematic 액정을 이용하여 액정 셀을 제작 하였을 때 조성비 x 값이 1.6보다 작은 경우에는 액정분자들이 a-SiO_x 박막위에서 수직배향을 보였으며 x 값이 1.6보다 큰 경우에는 수평배향을 보였다. 일반적으로 X선 회절, 원자현미경 등의 복잡한 측정을 이용하지 않고 가시광선 영역에서 투과율 값의 변화를 통하여 액정 영상표시 장치의 특성을 간접적으로 측정할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

1. I. K. D. Hirschman, L. Tsybeskov, S. P. Duttagupta and P. M. Fauchet, *Nature*, **384**, 338 (1996).
2. A. Hohl, T. Wieder, P. A. van Aken, T. E. Weirich, G. Denniger, M. Vidal, S. Oswald, C. Deneke, J. Mayer and H. Fusses, *J. Non-cryst. Solids*, **320**, 255 (2003).
3. Z.-X. Ma, X.-B. Liao and J. He, *J. Appl. Phys.*, **83**, 7934 (1998).
4. X. Y. Chen, Y. F. Lu, L. J. Tang, Y. H. Wu, B. J. Cho, X. J. Xu, J. R. Dong and W. D. Song, *J. Appl. Phys.*, **97**, 014913 (2005).
5. V. Belot, R. J. P. Corriu, D. Leclercq, P. Lefevre, P. H. Mutin, A. Vioux and A. M. Flank, *J. Non-cryst. Solids*, **127**, 207 (1991).
6. T. Makimura, Y. Kunii, N. Ono and K. Murakami, *Jpn. J. Appl. Phys., Part II*, **35**, L1703 (1996).
7. S. Hasegawa, L. He, T. Inokuma and Y. Kurata, *Phys. Rev. B*, **46**, 12478 (1992).
8. H. S. Bae, T. G. Kim, C. N. Whang, S. Im, J. S. Yun and J. H. Song, *J. Appl. Phys.*, **91**, 4078 (2002).
9. N. Tomozeiu, E. E. van Faassen, A. Palmero, W. M. Arnoldbik, A. M. Vredenberg and F. H. P. M. Habraken, *Thin Solid Films*, **447**, 306 (2004).
10. R. S. Brusa, G. P. Karwasz, G. Mariotto, A. Zecca, R. Ferragut, P. Folegati, A. Dupasqueier, G. Ottaviani and R. Tonini, *J. Appl. Phys.*, **94**, 7483 (2003).
11. G. R. Lin, C. J. Lin and K. C. Yu, *J. Appl. Phys.*, **96**, 3025 (2004).
12. F. J. Himpsel, F. R. McFeely, A. Taleb-Ibrahimi, J. A. Yarmoff and G. Hollinger, *Phys. Rev. B*, **38**, 6084 (1988).
13. A. Pasquarello, M. S. Hybertsen and R. Car, *Phys. Rev. Lett.*, **74**, 1024 (1995).
14. C. Yi, H. U. Kim, S. W. Rhee, S. H. Oh and C.-G. Park, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **19**, 2067 (2001).
15. A. B. Christie, In: J. M. Walls (Ed.), *X-ray photoelectron spectroscopy in methods of surface analysis*, Cambridge University Press, New York, 1987, p. 157.
16. J. F. Watts and J. Wolstenholme, *An introduction to surface analysis by XPS and AES*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2003, p. 76.
17. E. D. van Hattum, A. Palmero, W. M. Arnoldbik, H. Rudolph and F. H. P. M. Habraken, *J. Appl. Phys.*, **102**, 124505 (2007).
18. K.-N. Tu, J. W. Mayer, L. C. Feldman, *Electronic Thin Film Science*, 1st ed., p. 100-193, Macmillan Publishing Company, New York (1992).
19. A. K. Kulkarni and L. C. Chang, *Thin Solid Films*, **301**, 17 (1997).
20. N. I. Cho and D. I. Park, *Thin Solid Films*, **308/309**, 465 (1997).
21. W. T. Tseng, Y. L. Wang and J. Niu, *Thin Solid Films*, **370**, 96 (2000).
22. W. Tang, K. Xu, P. Wang and X. Li, *Microelectronic Engineering*, **66**, 445 (2003).
23. H. Rinnert, M. Vergnat, G. Marchal and A. Burneau, *J. Lumin.*, **80**, 445 (1999).
24. H. Miyazaki and T. Goto, *J. Non-Cryst. Solids*, **352**, 329 (2006).
25. H. Rinnert, M. Vergnat and G. Marchal, *Mater. Sci. Eng. B*, **69/70**, 484 (2000).
26. G. Baur, V. Wittwer and D. W. Berreman, *Phys. Lett. A*, **56**, 142 (1976).
27. T. J. Scheffer and J. Nehring, *J. Appl. Phys.*, **48**, 1783 (1977).
28. D. L. Smith, *Thin-film deposition principles and practices*, 1st ed., p 23-25, McGraw Hill, San Francisco (1995).