

## 대향타겟식 스퍼터링 장치의 공정 조건에 따른 SiO<sub>x</sub> 가스 차단막의 특성

### Characteristics of SiO<sub>x</sub> Gas Barrier Films as a Function of Process Conditions in Facing Target Sputtering (FTS) System

배 강<sup>1</sup>, 왕태현<sup>1</sup>, 손선영<sup>1</sup>, 김화민<sup>1,a</sup>, 홍재석<sup>2</sup>

(Kang Bae<sup>1</sup>, Tae-Hyun Wang<sup>1</sup>, Sun-Young Sohn<sup>1</sup>, Hwa-Min Kim<sup>1,a</sup>, and Jae-Suk Hong<sup>2</sup>)

#### Abstract

For the silicon oxide (SiO<sub>x</sub>) films prepared by using the facing target sputtering (FTS) apparatus that was manufactured to enhance the preciseness of the fabricated thin-film and sputtering yield rate by forming a higher-density plasma in the electrical discharge space for using it as a thin-film passivation system for flexible organic light emitting devices (FOLEDs). The deposition characteristics were investigated under various process conditions, such as array of the cathode magnets, oxygen concentration(O<sub>2</sub>/Ar+O<sub>2</sub>) introduced during deposition, and variations of distance between two targets and working pressure. We report that the optimum conditions for our FTS apparatus for the deposition of the SiO<sub>x</sub> films are as follows: d<sub>TS</sub> and d<sub>TT</sub> are 90 mm and 120 mm, respectively and the maximum deposition rate is obtained under a gas pressure of 2 mTorr with an oxygen concentration of 3.3 %. Under this optimum conditions, it was found that the SiO<sub>x</sub> film was grown with a very high deposition rate of 250 Å/min by rf-power of 4.4 W/cm<sup>2</sup>, which was significantly enhanced as compared with a deposition rate (~55 Å/min) of the conventional sputtering system. We also reported that the FTS system is a suitable method for the high speed and the low temperature deposition, the plasma free deposition, and the mass-production.

**Key Words** : Facing target sputtering, Silicon oxide, Permanent magnet array, High deposition rate, Low deposition temperature

#### 1. 서론

다양한 성분의 폴리머(polymer)로 구성된 플라스틱 기관위에 형성된 SiO<sub>x</sub>와 같은 보호막 코팅은 대기중의 수분 및 산소에 의한 손상을 줄여주므로 제약 및 식품 음료의 포장 산업에서 많이 응용되고 있다[1-4]. 또한 유기전기발광소자(organic light

emitting device, OLED)에서 수분 또는 산소의 내부 투습에 대해서 완벽한 차단을 위해 기존에는 유리(glass) 또는 금속캔(metal can)을 이용한 봉지기술(encapsulation)들을 사용하였으나 이러한 방법들은 제작된 소자의 두께가 두꺼워지는 문제점과 흡습제(desiccant) 및 밀폐제(sealant)의 재료 개선이 필요하며, 특히 휘어지는 소자에 적용할 수 없다는 문제점들로 인해 박막형 보호막(thin film passivation)의 개발이 요구되어 진다. 대기중의 수분 및 산소가 소자 내부로 침투되면 금속 전극을 산화시키거나 유기물층에 불순물로 작용하여 기포(bubble) 또는 흑점(dark spot)과 같은 비발광 영역을 형성하고 그 결과 소자의 수명이 급격히

1. 대구가톨릭대학교 전자공학과  
(경북 경산시 하양읍 금락 1리 330)  
2. (주)CTC  
a. Corresponding Author : hmkim@cu.ac.kr  
접수일자 : 2009. 5. 28  
1차 심사 : 2009. 6. 16  
심사완료 : 2009. 6. 23

감소하게 된다. 뿐만아니라 플라스틱 기판을 사용하는 휘어지는 OLED (flexible OLED, FOLED)의 경우 소자 구동시 폴리머 성분의 기판자체가 포함하고 있는 유기 솔벤트 성분이 유기물 층 내로 확산되거나 대기중의 가스 성분들이 기판을 통해 침투되어 결점(defect)으로 작용하므로 플라스틱 기판위에 가스 차단막(gas barrier layer)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[5]. 가스 차단막의 경우 플라스틱 기판위에 형성되므로 광학적으로 투명하면서도 절연특성이 뛰어나면서도 수분차단 특성이 뛰어난  $\text{SiO}_x$  또는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 와 같은 실리콘 화합물 박막들이 가장 널리 활용되고 있다[6-8]. 이러한 가스 차단막들을 증착하기 위해서는 일반적으로 스퍼터링(sputtering) 방법과 플라즈마 화학 기상증착(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD) 방법에 의해 제작되고 있다. 현재까지 가장 많이 사용되고 있는 3극 스퍼터링 또는 마그네트론 스퍼터링(magnetron sputtering) 방법들은 양산성, 고속 증착률, 대면적 증착, 그리고 양질의 박막 제작이 가능한 반면에 타겟(target)과 기판이 일직선상에 서로 마주하고 있으므로 증착하는 동안  $\gamma$ -전자나 중성 Ar 입자 그리고 산소 음이온과 같은 고에너지 입자들이 기판과 충돌하기 때문에 박막의 공정이 복잡적이거나 장기간으로 증착할 경우에는 하부층에 손상을 줄 수 있다. 예를 들어, FOLED위에 보호막을 제작할 경우 증착 과정동안 고에너지 입자들의 충돌에 의해 하부 유기층에 심각한 손상을 줄 수 있다. 기존의 진공증착 장비의 단점들을 해결하기 위하여 최근에 타겟이 서로 마주보고 있고 기판을 두 타겟 사이의 중심축의 수직방향으로 장착한 대향 타겟식 스퍼터링(facing target sputtering, FTS) 장치가 박막 증착시 플라즈마를 두 타겟 사이에 형성된 자기장 속에 가두고 플라즈마에 의한 손상을 막을 수 있는 증착방법(plasma free deposition)이면서 마주하고 있는 두 타겟 사이를 고속으로 왕복 나선 운동하는  $\gamma$ -전자들에 의해 반응 가스들의 이온화를 촉진시켜 고속 증착이 가능하면서도 균일한 박막을 얻을수 있다는 장점들로 인해 다양한 분야에서 활용되고 있다[9-13].

따라서 본 연구에서는 FTS 증착 장비를 이용하여 polyethylene naphthalate(PEN) 기판위에 제작된  $\text{SiO}_x$  가스 차단막이 FOLED에 적용되기 위한 가능성 및 양산성을 분석하기 위하여 두 타겟들간의 거리( $d_{TT}$ ), 타겟과 기판간의 거리( $d_{TS}$ ), 가스 분

압비에 따른 박막의 증착 두께 및 증착률을 측정하였다. 특히 FTS 장치의 장점인 캐소드에 장착된 영구자석의 배열을 조절가능한 점을 고려해 전기적 방전 영역에 형성된 플라즈마 밀도에 의한 박막의 특성분석을 위해 순방향 배열(forward array) (NSN:SNS), 역방향 배열(reverse array) (NSN:NSN), 그리고 일극 순방향 배열(one polar forward array) (NNN:SSS)의 각 배열에 따라 형성되는 플라즈마 형태와 제작된  $\text{SiO}_x$  박막의 증착률, 광학적 투과도, 그리고 수분 투과율 등을 비교 분석하였다.

## 2. 실험

본 실험에 사용된 FTS 시스템은 그림 1(a)에 나타내었으며, 그림 1(b)는 챔버 내부의 서로 대향하고 있는 3 인치 원형 캐소드와 두 캐소드 사이에 방전된 플라즈마의 형태를 보여준다. 두 캐소드의 뒤에는 자기장 세기가 3900 Gauss인 Nd 영구자석이 장착되어있으며, 두 타겟 사이의 간격( $d_{TT}$ )을 조절할 수 있도록 고안되었다.  $d_{TT}$ 와  $d_{TS}$ 에 대한 정의를 그림 1(c)에 나타내었다. 캐소드에는 고에너지 입자들과 충돌에 의한 열을 제어하기 위하여 냉각수를 흐르게 하였다.

FTS 시스템을 사용하여  $\text{SiO}_x$  박막을 증착하기 위하여 활성화 가스는 Ar을, 반응용 가스로는  $\text{O}_2$  가스를 혼합하여 사용하였으며, 최적 공정 조건을 찾기 위하여 다양한 가스 압력 하에서 산소농도 ( $\text{O}_2/\text{Ar}+\text{O}_2$ )를 1 %에서 10 %까지 변화하여 실험을 진행 하였으며, 또한 시스템의 최적 조건을 찾기 위하여 캐소드에 장착된 영구자석에 의한 자기장 방향의 변화와,  $d_{TT}$ 와  $d_{TS}$ 의 변화를 변수로 하여  $\text{SiO}_x$  박막의 최적 공정조건을 조사하였다. 최적 공정 조건으로  $\text{SiO}_x$  박막의 증착률 광투과도, 그리고 박막두께 등을 각각 측정하였다. 증착된 박막의 두께 측정은 VEECO사의  $\alpha$ -step을 이용하여 측정하였으며, 광투과율은 자외선-가시광선 분광법(UV-Vis spectroscopy, Shimadzu Co.)을 사용하여 특정 파장 영역( $\lambda=550$  nm)에서  $d_{TT}$  또는 산소분압비의 함수에 따라 측정하였다. 또한 제작된 박막들이 가스 차단막으로써의 특성분석을 위해 PEN 기판위에 영구자석의 배열에 따라 제작된  $\text{SiO}_x$  박막들은 Permatran W3/31 (Mocon, Inc.)을 이용하여 분석 장치 내에서  $\text{N}_2$  가스의 유량을 9.8 sccm으로 주입하여 상대습도(relative humidity, RH) 90 %인

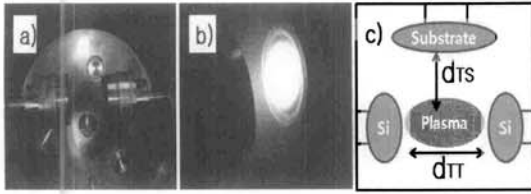


그림 1. (a) FTS 장치의 내부의 모습, (b) 플라즈마 방전 모습, (c) 두 타겟들간의 거리 ( $d_{TT}$ )와 타겟과 기판간의 거리( $d_{TS}$ )에 대한 정의.

Fig. 1. (a) Pictures of the inside in the FTS system, (b) the plasma formed during film deposition, and (c) definition of distance between two targets ( $d_{TT}$ ) and distance between target and substrate ( $d_{TS}$ ).

“wet side”에서 RH 0 %인 “dry side”로 침투된 수분투습율을 적외선 센서가 분자의 양을 감지하여 약 24시간동안 검출된 수분의 농도를  $g/m^2 \cdot day$ 의 단위로 나타내었다[14]. 또한 Mg-K  $\alpha$ (1253.6 eV)선을 이용하여 Kratos사의 X-선 광전자 분광기(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)에 의해 산소 분압비에 따른  $SiO_x$  박막들의 정량분석을 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2 는 서로 마주하고 있는 캐소드에 장착된 연구자석의 배열을 (a) 순방향 배열(forward array) (NSN:SNS), (b) 역방향 배열 (reverse array) (NSN:NSN), 그리고 (c) 일극 순방향 배열 (one polar forward array) (NNN:SSS)의 배열과 각 배열에 대응하여 형성되는 플라즈마 형태를 나타낸 것이다. FTS 시스템의 두 캐소드 사이에 형성되는 자기장은 플라즈마 밀도에 영향을 줄 수 있으며, 플라즈마 밀도는 박막의 증착률에 많은 영향을 주게 된다. 예를 들면, 그림 2(a)에서 순방향의 경우, 서로 다른 극이 마주 하고 있어 자기장이 두 캐소드를 연결하는 축과 같은 방향으로 형성되어 두 캐소드 사이에 대칭의 플라즈마가 형성되고, 두 타겟 사이를 왕복 나선 운동하는 고속의  $\gamma$ -전자들에 의해 스퍼터 가스의 이온화를 촉진시켜 고속 증착이 가능할 뿐만 아니라 기판이 플라즈마로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 플라즈마 내의 고에너지 입자들과의 충돌을 피할 수 있어 저온 성막이 가능하다[5].

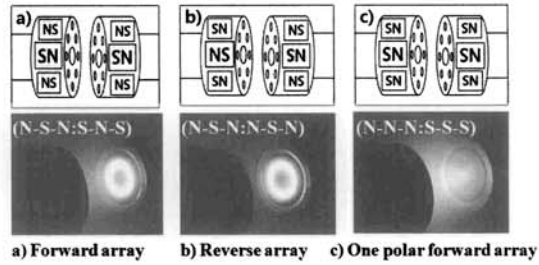


그림 2. (a) 순방향 배열(NSN:SNS) (b) 역방향 배열 (NSN:NSN), (c) 이극 순방향 배열 (NNN:SSS)에 따른 플라즈마 변화.

Fig. 2. Plasma as a function of (a) forward array (NSN:SNS) (b) reverse array (NSN:NSN), and (c) one polar forward array (NNN:SSS).

또한 이 경우에는 플라즈마를 두 타겟 중심을 연결하는 축과 평행인 자기장 속에 구속되기 때문에 그림 2(b)의 역방향 배열에서 보다 많은  $\gamma$ -전자들이 구속된다.  $\gamma$ -전자들이 많으면 많을수록 보다 많은 이차전자를 생성하게 되고, 그 결과 방전 전압을 낮출 수 있을 뿐만 아니라,  $\gamma$ -전자는 양쪽 타겟 사이의 공간에서만 왕복 사이클론 운동을 하기 때문에 분위기 가스의 이온화를 촉진하게 된다. 이 때 플라즈마 중심부에서는 약  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 의 고밀도 플라즈마가 형성되어 기존의 직류 2극 평행 평판형 방식이나 RF 평판형 마그네트론 스퍼터링 (Conventional DC magnetron sputtering or RF-magnetron sputtering) 장치의 스퍼터율 보다 10배 이상 높으며, 저온 고속 증착에 의한 대면적 박막형성이 가능하다. 또한 자계를 음극면에서 수직으로 인가하기 때문에 강자성체 박막 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이에 반해 그림 2(b)의 역방향 배열의 경우, 서로 같은 극끼리 마주하고 있기 때문에 두 타겟 사이에 대칭형태의 플라즈마가 형성되지만, 두 타겟 사이의 중간 영역에서 플라즈마가 사방으로 분산되어 순방향에 비하여 플라즈마 밀도가 크게 감소하여 박막 증착률이 크게 저하된다. 또한 플라즈마가 기판 쪽으로 분산되기 때문에 증착동안 고에너지 입자들이 기판과 충돌하여 양질의 박막 제작이 어렵다. 한편, 그림 2(c)의 일극 순방향의 경우, 플라즈마 밀도가 가장 작은 것으로 나타났다. 특히, 타겟의 erosion 영역의 플라즈마 밀도가 순방향 또는 역방향 배열에 비하여 현저하게 낮은 것을 확인 하였으며, 플

라즈마 밀도가 크게 감소함에 따라 박막의 구조적인 특성이 저하되어 그림 3에서와 같이 박막형성이 어렵다. 이러한 실험 결과는 3가지 종류의 자석 배열에 따라 형성된 SiO<sub>x</sub> 박막의 수분 투습율을 비교한 결과 SiO<sub>x</sub> 가스차단막이 없는 PEN의 경우 약 1.8 g/m<sup>2</sup>·day, 순방향 배열에서 제작된 SiO<sub>x</sub> 박막을 갖는 PEN은 약 0.6 g/m<sup>2</sup>·day, 역방향 배열의 경우 약 1.3 g/m<sup>2</sup>·day, 일극 순방향 배열의 경우 약 1.8 g/m<sup>2</sup>·day의 값을 가진다. 앞선 실험 결과에서 예측되었듯이 순방향 배열의 높은 플라즈마 밀도에서 제작된 SiO<sub>x</sub> 박막이 치밀한 박막 구조를 가져 다른 박막에 비해 가장 낮은 수분투습율을 갖는 효과를 가지며 본 실험에서 제작된 박막이 FOLED와 같은 휘어지는 소자 또는 플라스틱 필름에 적용 가능함을 보인다.

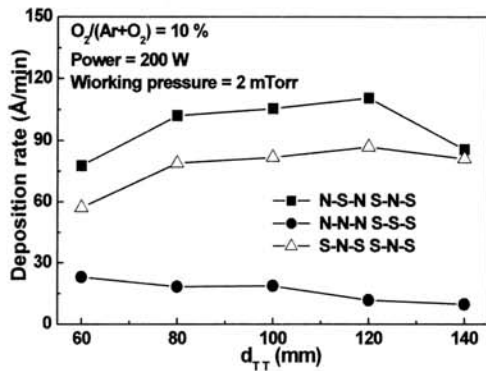


그림 3. 다양한 캐소드 자석 배열에 따라 제작된 SiO<sub>x</sub> 박막에서 d<sub>TT</sub>의 함수에 따른 증착율.  
 Fig. 3. Deposition rate as a function of d<sub>TT</sub> for SiO<sub>x</sub> films prepared under different cathode magnet arrangements.

그림 3은 캐소드 자석의 배열에 따라 성막된 SiO<sub>x</sub> 박막에 대하여 박막의 증착율을 d<sub>TT</sub>의 함수로 나타낸 것이다. 증착하는 동안 2 mTorr의 가스 압력(working pressure)하에 증착동안 유입된 산소 분압비(O<sub>2</sub>/Ar+O<sub>2</sub>)는 10 % 이고, 인가된 rf-전력은 200 W이다. 캐소드 자석의 배열이 순방향과 역방향일 때, SiO<sub>x</sub> 박막의 증착률은 d<sub>TT</sub>가 증가함에 따라 약간씩 증가하여 d<sub>TT</sub>가 120 mm일 때 최대의 증착률을 나타내며, 120 mm 이상에서는 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 이에 반해, 이극 순방향의 경우에는 d<sub>TT</sub>가 증가함에 따라 박막 증착률이

감소하며, 다른 두 배열에 비해 증착률이 약 4-5배 정도 현저하게 낮아 박막 공정상 어려움이 있는 것으로 나타났다. 한편, d<sub>TT</sub>가 일정할 때 박막의 증착률은 순방향, 역방향, 그리고 일극 순방향의 순서로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 박막의 증착률이 두 타겟 사이에 형성되는 플라즈마의 밀도에 비례하는 것으로 사료된다. 따라서 본 실험에서 제작된 FTS 시스템의 최적 조건으로는 캐소드 자석의 배열이 순방향(NSN:SNS)일 때이며, 최적의 d<sub>TT</sub>는 120 mm임을 알 수 있다.

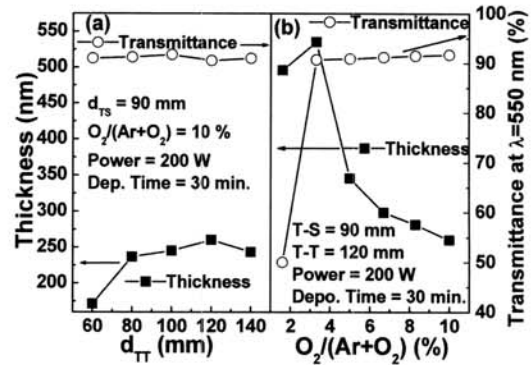


그림 4. (a) O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)=10 %인 조건에서 d<sub>TT</sub>의 함수와 (b) d<sub>TT</sub>=120 mm인 조건에서 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 산소 분압비의 함수에 따라 증착된 SiO<sub>x</sub> 박막의 두께 및 550 nm의 파장에서 측정된 광학적 투과율.  
 Fig. 4. Thickness and optical transmittance (at λ=550 nm) of SiO<sub>x</sub> films deposited as a function of (a) parameters of d<sub>TT</sub> under O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>)=10 % condition and (b) O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) oxygen pressure under d<sub>TT</sub>=120 mm condition.

그림 4(a)는 캐소드 자석의 배열이 순방향이고, d<sub>TS</sub>가 90 mm, 10 %의 산소농도, 2 mTorr의 가스 압력, 200 W의 인가전압의 조건에서 30분 동안 성막된 SiO<sub>x</sub> 박막에서 d<sub>TT</sub>의 함수에 따른 박막두께와 특정 파장 영역(λ=550 nm)에서 측정한 박막의 광투과율을 나타낸 것이다. d<sub>TT</sub>가 120 mm일 때 두께가 가장 두꺼운 것을 볼 수 있는데, 이는 그림 3에서 최대의 증착률에 대한 조건이 d<sub>TT</sub>가 120 mm인 결과와도 잘 일치한다. d<sub>TT</sub>에 관계없이 모든 SiO<sub>x</sub> 박막의 광투과율(λ=550 nm)은 90 % 이상

의 매우 우수한 광투과율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)는 캐소드 자석이 순방향이고  $d_{TT}$ 가 120 mm인 조건에서 산소 분압비( $O_2/Ar+O_2$ )에 따른  $SiO_x$  박막두께와 특정 과장영역에서의 광투과도를 측정된 결과이다. 제작된  $SiO_x$  박막의 두께는 3.3 %의 산소 농도에서 성막될 때 최대 증착 두께를 가지며, 3.3 % 이상에서는 산소 농도가 증가할수록 박막 두께가 감소한다. 이는  $SiO_x$  박막의 증착률은 산소 농도가 3.3 %일 때 최대이고, 증착 동안 유입되는 산소농도가 증가함에 따라 박막의 증착률이 감소하기 때문이다. 또한 XPS를 이용하여 정량분석을 한 결과 산소 분압비가 3.3 %인  $SiO_x$  박막내에 탄소 불순물(carbon impurity)의 양이 가장 작으며  $SiO_2$  박막에 가장 가까운 성분비를 가지는 것으로 나타났다.

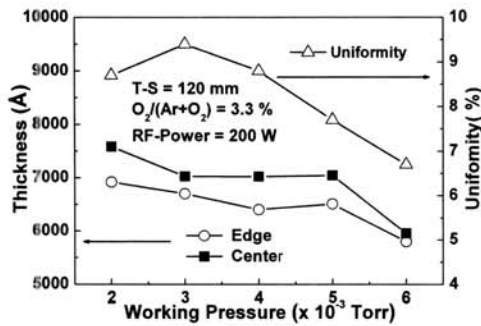
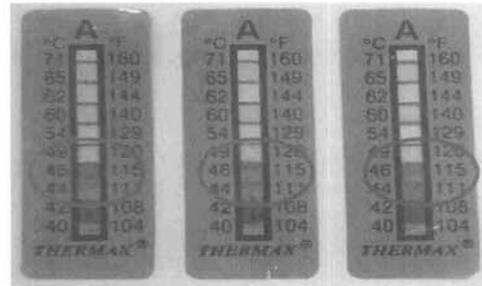


그림 5. 3.3 %의 산소 분압비에서 제작된  $SiO_x$  박막에서 증착 압력의 함수에 따른 박막 두께와 균일도.

Fig. 5. (a) Film thickness and uniformity as functions of working pressure for  $SiO_x$  films prepared under the oxygen concentrations of 3.3 %.

그림 5는 FTS 시스템의 최적조건인 캐소드 자석의 순방향배열과 200 W의 인가전력,  $d_{TS}$ 와  $d_{TT}$ 는 각각 90 mm와 120 mm에서 3.3 %의 산소 분압비의 조건에서 성막된  $SiO_x$  박막의 두께를 증착시 가스압력의 함수로 나타낸 것이다. 여기서 인가전력은 200 W 였다. 산소 농도에 관계없이  $SiO_x$  박막은 2 mTorr의 가스 압력에서 가장 두껍게 성막되는 것을 볼 수 있다. 특히, 최적 산소 분압비인 3.3 %에서 성막된  $SiO_x$  박막의 두께는 7583 Å

인데, 이는  $4.4 W/cm^2$ 에 의해 250 Å/min의 고속 증착이 가능함을 나타내는 것으로서 기존의 스퍼터링 시스템에 의한 증착률( $\sim 55 Å/min$ )에 비교하면, 획기적으로 향상된 것임을 보여 준다[15,16].



타겟 사이의 거리 ( $d_{TT}$ )	80 mm	100 mm	120 mm
Sub. Temp. after 3 hours	46 °C	46 °C	46 °C

그림 6. Thermal tape를 이용하여  $d_{TT}$  거리의 함수에 따라 3시간 동안  $SiO_x$  박막 증착 후 측정된 기판의 온도.

Fig. 6. Substrate temperature measured after deposition of  $SiO_x$  thin films during 3hr as a function of the distance between targets.

그림 6은 FTS 시스템의 최적 공정 조건에서  $d_{TT}$ 만을 변화 시켜  $SiO_x$  박막을 3시간 동안 성막한 후 기판의 온도를 측정하기 위하여, 기판에 부착된 thermal tape의 온도 변화를 보여주고 있다. 최적 조건에서 30분 동안 증착된  $SiO_x$  박막은 7538 Å의 두께로 성막된 후 기판의 온도는 46 °C로 측정되었으며, 기판온도는  $d_{TT}$ 의 거리와는 무관하며,  $d_{TS}$ 에 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한  $d_{TS}$ 가 가장 짧은 80 mm일 때 30분 동안의 증착 후, 기판의 온도는 60 °C 이하인 것으로 확인되었다. 이 결과는 기판이 플라즈마로부터 멀리 떨어져 있기 때문에, 즉 플라즈마에 의한 손상이 작은 증착(plasma free deposition)이 이루어지기 때문에 플라즈마 내의 고에너지 입자들과의 충돌을 피할 수 있고, 그 결과 기판의 온도 상승 요인이 없기 때문에 저온 성막이 가능한 것으로 설명할 수 있다. 이러한 특성은 공정온도가 대부분 낮은 차세대 FOLED에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 박막형 봉지 타입의 FOLED (thin-film-passivation FOLEDs)와 폴리머 기판의 보호층으로 응용이 가능한 SiO<sub>x</sub> 박막의 증착을 위해 전기적 방전 영역에 고밀도의 플라즈마를 형성함으로써 성막된 박막의 치밀도와 스퍼터율을 획기적으로 향상시키면서 저온특성을 갖는 FTS 장치를 적용하였다. 예를 들면, 서로 대향하고 있는 캐소드에 장착된 영구자석의 자기장 방향, 대향하고 있는 두 타겟 사이의 거리, 타겟과 기판과의 거리 그리고, 증착시 진공도와 박막 증착시 유입되는 산소량(O<sub>2</sub>/Ar+O<sub>2</sub>) 등을 공정 변수로 하여 SiO<sub>x</sub> 박막을 증착 하였다. 제작된 SiO<sub>x</sub> 박막의 증착률과 광투과도,...등을 측정한 결과 SiO<sub>x</sub> 박막의 증착률에 영향을 주는 공정 변수로는 캐소드 자석의 배열과 두 타겟 사이의 간격에 따라 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 본 실험에서 제작된 FTS 시스템의 최적 공정 조건으로서, d<sub>TS</sub>와 d<sub>TT</sub>는 각각 90 mm와 120 mm 이며, 캐소드 의 자석 배열은 순방향(NSN:SNS)일 때 형성되는 플라즈마 밀도가 가장 높기 때문에 박막의 증착률 또한 가장 큰 것으로 나타났다. SiO<sub>x</sub> 박막의 성막에 영향을 주는 또 다른 공정 변수로는 증착동안 유입되는 산소분압비와 증착시 진공도는 각각 3.3 %일 때 와 2 mTorr 일 때 가장 증착률이 높은 것으로 나타났으며, 이와 같은 최적의 공정 조건하에서 SiO<sub>x</sub> 박막은 4.4 W/m<sup>2</sup>의 인가 전력에 의해 575 Å/min의 속도로 고속 증착되는 것이 확인 되었다. 또한 본 연구의 결과로부터 FTS 시스템은 기판을 플라즈마로부터 멀리 떨어져 장착하므로 즉, 플라즈마에 의한 손상을 최소화 시킬수 있으므로 저온 성막에 매우 유리한 증착 시스템임을 제시한다. 실험결과에 의하면, FTS 시스템의 최적 공정 조건하에서 30분 동안 증착하여 7538 Å의 두께를 갖는 SiO<sub>x</sub> 박막을 증착하는 동안 기판의 온도 46도에 불과 하였다.

결론적으로 본 연구에서 사용된 FTS 시스템은 FOLED와 같은 소자의 보호막으로 증착시 플라즈마에 대한 손상을 최소화 하고, 저온 고속 성막이 가능함으로써, 하부 유기물 층을 보호할 수 있고, 가스차단막으로 응용할 경우 열에 대한 내구성이 작은 폴리머 기판에 적용시 기판으로부터 수분 또는 산소의 침투를 적절히 막아주어 차세대 소자에서 매우 적절한 시스템임을 제안하고자 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 기업부설연구소 설치 지원사업과 사업화연계기술개발사업(R&BD)사업의 지원에 의한 것임.

#### 참고 문헌

- [1] Y. Leterrier, "Durability of nanosized oxygen barrier coatings on polymers", Prog. Master. Sci., Vol. 48, p. 1, 2003.
- [2] G. Dennler, A. Houdayer, Y. Segui, and M. R. Wertheimer, "Growth and structure of hyper thin SiO<sub>2</sub> coatings on polymers", J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 19, p. 2320, 2001.
- [3] P. E. Burrows, G. L. Graff, M. E. Gross. P. M. Martin, M. K. Shi, M. Hall, E. Mast, C. Bonham, Bennett, and M. B. Sullivam, "Ultra barrier flexible substrates for flat panel displays", Display, Vol. 22, p. 65, 2001.
- [4] S. W. Ryu, J. S. Hong, J. Y. Yang, J. M. Yang, J. J. Kim, W. P. Hong, S. H. Park, H. M. Kim, J. Y. Moon, and J. S. Ahn, "Optical properties of inorganic (ZnO)<sub>100-x</sub>(Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>x</sub> alloy films for the color filter of a plasma display panel", J. Korean Phys. Soc., Vol. 50, p. 612, 2007.
- [5] 김지환, 조도현, 손선영, 김화민, 김종재, "플렉서블 디스플레이용 저온공정을 갖는 대향 타겟식 스퍼터링 장치를 이용한 ZrO<sub>2</sub> 가스 차단막의 특성", 전기전자재료학회논문지, 22 권, 5호, p. 425, 2009.
- [6] A. G. Erlat, B. M. Heny, J. J. Ingram, D. B. Moutain, A. McGuigan, R. P. Howson, C. R. M. Grovenor, G. A. D. Briggs, and Y. Tsukahara, "Characterization of aluminum oxynitride gas barrier films", Thin Solid Films, Vol. 388, p. 78, 2001.
- [7] A. G. Erlat, B. M. Heny, J. J. Ingram, C. R. M. Grovenor, G. A. D. Briggs, R. J. Chater, and Y. Tsukahara, "Mechanism of water vapor transport through PET/AlO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> gas barrier films", J. Phys. Chem. B, Vol. 108, p. 883, 2004.
- [8] S. Takada, "Relation between optical

- property and crystallinity of ZnO thin films prepared by RF magnetron sputtering", *J. Appl. Phys.*, Vol. 73, p. 4739, 1993.
- [9] K. H. Kim, I. H. Son, K. B. Kim, S. H. Kong, M. J. Keum, S. Nakagawa, and M. Naoe, "Thin film properties by facing targets sputtering system", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 169, p. 410, 2001.
- [10] H. K. Kim, S. W. Kim, K. S. Lee, and K. H. Kim, "Direct Al cathode layer sputtering on LiF/Al<sub>3</sub> layer by using facing target sputtering (FTS) with mixture gas of Ar and Kr", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 88, p. 083531, 2006.
- [11] H. Y. Wang, E. Y. Wang, P. Wu, H. L. Bai, and S. L. Ming, "Epitaxial  $\alpha$ -(Fe,Co)<sub>16</sub>N<sub>2</sub> films grown on NaCl(001) by facing targets sputtering", *J. Magn. Magn. Mater.*, Vol. 176, p. 159, 1997.
- [12] J. R. Shi and J. P. Wang, "Diamond-like carbon films prepared by facing-target sputtering", *Thin Solid Films*, Vol. 420, p. 172, 2002.
- [13] S. Nakagawa and M. Naoe, "Control of nano structure of the initial growth layers of Co-Cr thin films deposited by facing targets sputtering", *Vacuum*, Vol. 51, p. 595, 1998.
- [14] Permatran-W<sup>®</sup>, Model 3/33 Operator's Manual, MOCON, Inc.
- [15] 한진우, 강희진, 김종연, 서대식, "고분자 기판 위에 유기 용매를 사용하지 않은 다층 박막 Encapsulation 기술 개발", *전기전자재료학회 논문지*, 19권, 8호, p. 754, 2006.
- [16] L.-N. He and J. Xu, "Properties of amorphous SiO<sub>2</sub> films prepared by reactive RF magnetron sputtering method", *Vacuum*, Vol. 68, p. 197, 2002.