

## 박막두께 예측을 위한 증착 공정 모델링에 관한 연구

Study on Evaporating Process Modeling for Estimation of Thin-film Thickness Distribution

이응기(Eungki Lee)\*, 이동은(Dongeun Lee)\*\*, 김숙한(Sookhan Lee)\*\*

\*공주대학교 기계자동차공학부. \*\* 공주대학교 대학원 기계공학과

### 초록

In order to design an evaporation system, geometric simulation of film thickness distribution profile is required. In this paper, a geometric modeling algorithm is introduced for process simulation of the evaporating process. The physical fact of the evaporating process is modeled mathematically. Based on the developed method, the thickness of the thin-film layer can be successfully controlled.

### 1. 서론

최근 정보 디스플레이는 CRT로부터 평판 디스플레이(FPD; Flat Panel Display)로 점차 옮겨가는 추세이며, 유기 EL(OLED; Organic Luminescent Emitting Device) 디스플레이는 세계적으로 많은 연구 및 개발이 진행되고 있다. 유기 EL 디스플레이는 일반적으로 다층 박막으로 구성되어 있으며, 이러한 박막층들은 진공 증착법에 의하여 형성된다.[1] 일반적으로 저항 가열 방식의 증발원을 이용하여 증착하는데, 증착 공정 조건 중에서 박막 두께 분포의 균일도가 기본적으로 확보되어야 한다. 기관의 크기가 확대됨에 따라 박막 균일도는 점점 더 중요한 공정 요건이 되어가고 있다. 이를 위하여 박막(thin-film)의 두께를 예측하고 이를 반영한 증착 공정 설비의 개발이 요구된다.

기관 위에 응축되는 박막의 두께 분포는 가능한 한 균일하게 분포하는 것이 바람직하다. 본 연구는 저항 가열 방식 증착 공정의 물리적 현상 등을 표현할 수 있는 공정 모델링을 수행한다. 증착 공정은 증발원의 재료가 가열, 증발되어 응축 성막되는 공정으로, 증발 입자의 방향 분포는 증발원(evaporation cell)에 주로 영향을 받는 것으로 알려져 있다. (Fig. 1)

본 연구는 증착 시스템 설계를 위하여 증착 공정의 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 증착 공정 모델을 개발한다. 증착 공정을 컴퓨터 시뮬레이션으로 대체함으로써, 단시간에 최적 공정 조건을 확립할 수 있도록 한다. 생산 설비 설계 및 납기의 혁신적인 단축이 기대되며, 보다 빠른 납기로 인하여 제품 개발 및 생산 경쟁력에서 우위를 확보할 수 있게 된다.

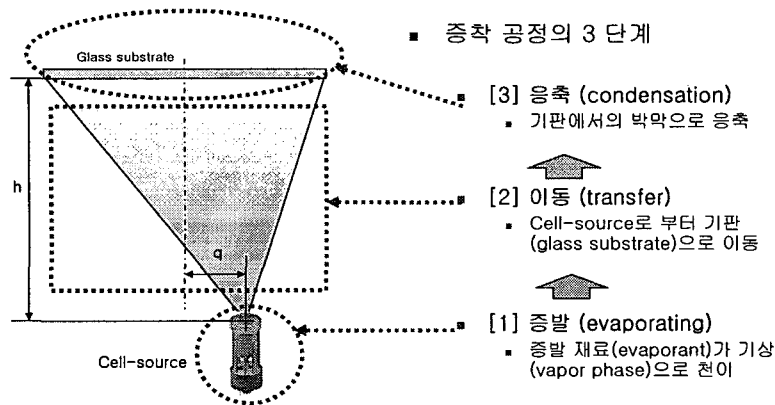


Fig. 1 Evaporation process

## 2. 증발원 방사 모델

증발원(cell-source)으로부터 증발하는 입자는 증발원의 온도에 상응하는 역학적 에너지를 가지고 증발한다.[2] 점증발원의 방사분포 모델링에 관한 많은 연구가 이루어졌으며, 이상적인 점증발원으로서 밀폐된 공간에 극히 적은 구멍이 있는 형태의 증발원에서 미세한 구멍  $dA_e$  를 통하여 증발 입자가 방출되는 경우  $dt$  시간 동안 면적  $dA_e$  를 통하여 기울어진 체적 내의 입자 분율은 식(1)과 같다.[3, 4]

$$c dt \cos \phi dA_s \frac{1}{V} \tag{1}$$

방향에 따른 입자 분율로부터 방사 각도에 따른 증발 입자의 분포는 식(2)와 같이 계산된다.

$$dM_s(\phi) = M_s \cos \phi \frac{d\omega}{\pi} \tag{2}$$

증발 입자의 분포는 실험으로부터 진공 증착 공정에서 점증발원의 증발 현상은 cosine 함수의  $n$  제곱으로 표현할 수 있음이 알려져 있다.[5] 방사 각도에 대한 증발 입자의 방향에 따른 입자 분포는 고체각(solid angle,  $\alpha$ )에 대하여 식(3)과 같이 표현될 수 있다.

$$m_\alpha = m_0 \cos^n \alpha \tag{3}$$

## 3. 박막 두께 모델링

박막 균일도 분포에 대한 해석을 위하여 공간에 위치한 미소 면적  $dA$  를 가정한다. 이 미소 면적에 응축되는 성막량을 계산하기 위하여 증착 시스템을 (Fig. 2)와 같이 기하학적으로 나타낼 수 있다. 각  $\beta$ 는 기판(substrate)의 중심과 미소 체적의 법선 방향(normal direction)과의 각도이고,  $s$  는 미소 체적과 증발원과의 거리이다. 미소 체적의 자세는 각도  $\alpha$ ,  $\beta$ 와 거리  $s$  로 정의될 수 있다. 미소 체적에서의 박막 두께는 식(4)와 같다.

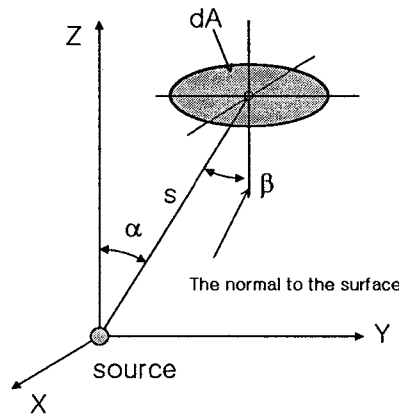


Fig. 2 Geometrical representation of evaporation equipment

$$d = \frac{m(\omega) d\omega}{\rho dA} = \frac{m(\omega) \cos\beta}{\rho s^2} \quad (4)$$

기판 중심에서의 박막 두께는 증착 공정 중에 두께가 변하지 않는 위치이므로 이 위치에서의 박막 두께를 이용하여 다른 위치에서 박막 두께를 표현함으로써 식(6)과 같이 박막 두께 분포를 무차원화할 수 있다.

$$\frac{d}{d_0} = \left(\frac{s_0}{s}\right)^2 \left(\frac{\cos^2\alpha \cos\beta}{\cos^2\alpha_0 \cos\beta_0}\right) \quad (6)$$

박막 두께 분포를 계산하기 위하여, 증발원의 방사 특성을 표현하는 지수 값인 n 값의 추정을 위한 과정이 요구된다. 본 연구에서는 증발원을 사용한 공정 실험으로부터 측정된 성막량으로부터 역으로 n 값을 추정하는 과정을 적용한다. 증착 공정 실험으로부터 측정된 박막 두께 데이터에 대한 근사를 위하여, 본 연구에서는 최소 자승법(Least Square Method)을 이용하여 근사 오차를 최소화 한다. 최소 자승법으로 측정된 박막 두께분포로부터 방사 분포 특성 값인 n을 추정할 수 있다. (Fig. 3)

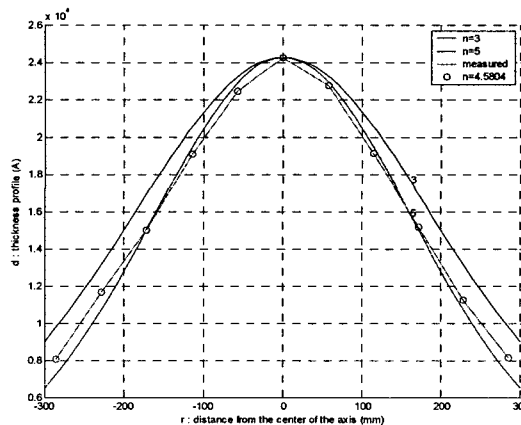


Fig. 3 Fitting of the effusion distribution profile

추정된  $n$  값으로부터 목표 사양(specification)을 만족하는 증발원 위치를 선정한다. (Fig. 4)에 도시된 바와 같이 탐색(search) 기법을 적용하여 최적의 증발원 위치를 선정한다.

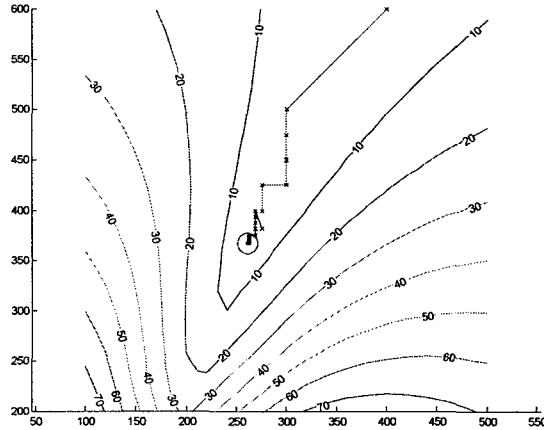


Fig. 4 Searching the optimum cell-source position

#### 4. 결론

본 연구에서 저항 가열 방식의 증착 공정의 물리적 현상을 표현할 수 있는 공정에 대한 형상 모델링을 수행하였다. 개발된 형상 모델링을 이용함으로써 증착 공정을 컴퓨터 시뮬레이션으로 대체할 수 있도록 함으로써, 단시간에 최적 공정 조건을 확립할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션으로 박막 두께 분포를 예측하였으며, 각종 공정 조건을 만족하는 증발원의 최적 위치를 선정하였다. 증착공정 결과로부터 공정 사양을 만족하고 있음을 확인하였다.

납기의 혁신적인 단축이 기대되며, 보다 빠른 납기로 인하여 제품 개발 및 생산 경쟁력에서의 우위 확보를 기대할 수 있다.

#### 후기

이 논문은 2006년도 성장동력개발사업에 의하여 지원되었음.

#### 참고문헌

- [1] Maissel Glang, Handbook of the Thin Film Technology, McGraw-Hill, USA, pp 1-55 (1970)
- [2] H. K. Pulker, Coating on Glass, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA (1987)
- [3] A. MacLeod, thin Film Optical Filters, Adam Hilger Ltd., London (1969)
- [4] K. H. Behrndt, R. E. Thun, Physics of Thin Films, Vol. 3, Academic Press, New York (1966)
- [5] M. Ohring, The material science of thin film, Academic press, USA (1992)