



SnO₂ 박막증착을 위한 APCVD Reactor 내 유량 균일도 향상에 대한 수치 해석적 연구

박준우¹, 윤익로¹, 정하승², 신승원², 박승호^{*2}, 김형준³

COMPUTATIONAL ANALYSIS FOR IMPROVING UNIFORMITY OF SnO₂ THIN FILM DEPOSITION IN AN APCVD SYSTEM

J.W. Park,¹ I.R. Yoon,¹ H.S. Chung,² S.W. Shin,² S.H. Park^{*2} and H.J. Kim³

With continuously increasing flat panel display size, uniformity of thin film deposition has been drawing more attentions and associated fabrication methodologies are being actively investigated. Since the convective flow field of mixture gas plays a significant role for deposition characteristics of thin film in an APCVD system, it is greatly important to maintain uniform distribution and consistent concentration of mixture gas species. In this paper, computational study has been performed for the improvement of flow uniformity of mixture gas in an APCVD reactor during thin film deposition process. A diffuser slit has been designed to spread the locally concentrated gas flow exiting from the flow distributor. A uniform flow distributor has been developed which has less dependency on operating conditions for global flow uniformity

Key Words : 유량 균일도(Flow Uniformity), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition), 박막(Thin Film), 전산유체역학(CFD)

1. 서 론

최근 평판디스플레이(FPD, Flat Panel Display) 산업과 태양 전지(Solar Cell) 등의 연구개발과 상용화가 활발히 진행되면서, 유리기판(glass substrate)의 대면적화에 따른 대면적 박막 증착 기술이 요구되고 있다. 기판 위에 증착된 박막의 두께 및 전기적, 열적 성질의 균일성은 이러한 대면적 박막 증착 공정에 있어서 가장 중요한 기술적 이슈가 되고 있으며, 아직도 많은 난제를 안고 있는 부분이기도 하다.

APCVD(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition) 방법은 기체 상태의 증착 물질이 기판의 표면에서 반응하여 고체상태의 박막을 형성하는 CVD 방법의 일종으로, PECVD(Plasma Enhanced CVD)와는 달리 별도의 진공 장비

없이 시스템의 압력이 상압수준을 유지하기 때문에 on-line 공정화가 가능하다는 장점이 있는 반면, 박막의 증착 특성이 혼합기체의 대류유동 특성에 매우 많은 영향을 받는다.[1] 따라서 정확하고 효율적인 유동 컨트롤 기술이 요구되며, 특히 인젝터(injector)를 통해 유리기판 위에 분사되는 혼합기체의 유량 균일도 확보는 균일한 박막의 증착을 위해 선행되어야 하는 가장 중요한 기술이라 할 수 있다.

현재 널리 사용되고 있는 APCVD 장비는, 대부분 인젝터 설계 시에 분사 위치와 분사구의 크기를 조절하여 유동 경로 차이에 의한 에너지 손실을 균일하게 하는 방식을 사용하고 있다.[2] 그러나 이러한 방식에서는 시스템의 성능 특성이 설계점에서만 유지되기 때문에 혼합기체의 유량 및 혼합비와 같은 공정 조건을 변화시키기 어렵다는 단점이 있다.

본 연구의 목적은 SnO₂ 박막의 증착을 위한 on-line APCVD 장비에서, 유리기판 위에 분사되는 혼합기체의 유량 균일도 향상과 더불어 유량 균일도의 공정조건에 의한 영향을 최소화 하는 것이다. 시스템이 혼합기체의 유량 변화에도 성능을 유지하기 위해 나무 가지처럼 분기하는 분배기(distributor)[3,4]를 변형하여 설치하고, 인젝터 하부에 확산기

1 홍익대학교 대학원 기계공학과

2 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

3 (주) 비아트론

* TEL : 02) 335-0000

* Corresponding author, E-mail: spark@wow.hongik.ac.kr

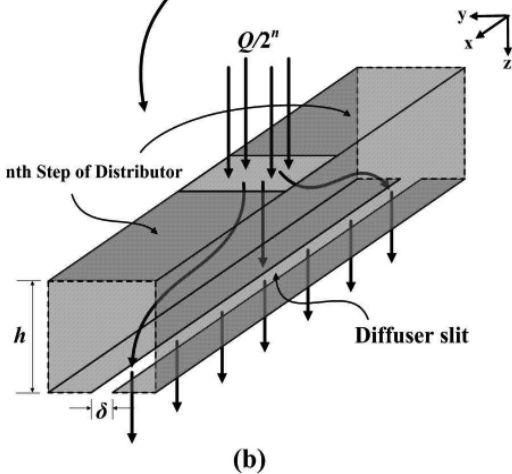
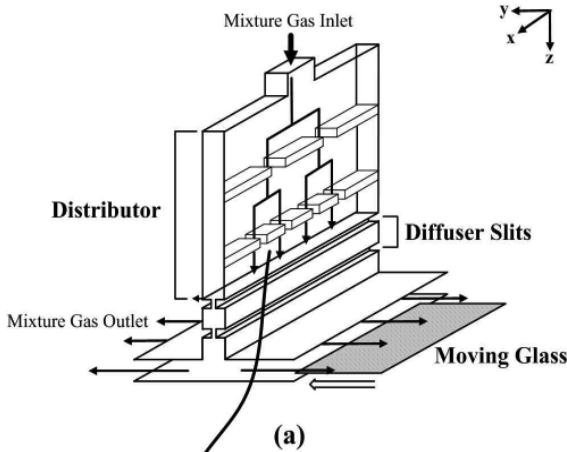


Fig. 1 Schematic diagram : (a) APCVD injector system and (b) main concerned part in APCVD injector

(diffuser)를 추가하여 국소적으로 불균일하게 분포하는 유량 차이를 회복하도록 하며, 시스템의 정량적 특성을 수치적으로 파악하고자 한다.

2. APCVD 인젝터 및 유동현상

본 연구에서는 대면적 유리기판의 균일한 박막 증착을 위해 APCVD장비 내 인젝터를 분배기와 확산기로 구성하였다. Fig.1 (a)는 본 연구에 사용하는 인젝터의 3차원 개략도이다. 상단의 입구로 혼합기체가 체적유량 Q 로 공급되며, 좌우 대칭인 지점에 분배구가 뚫린 분배기의 각 스텝(step)을 거치면서 1/2씩 분배된다. 분배기의 마지막 스텝을 거치면 혼합기체는 $Q/2^n$ 만큼씩 x 축 방향에 대해 등간격으로 분배되고[3] 확산기는 분배기를 거치고 나온 혼합기체의 국소적 집중을

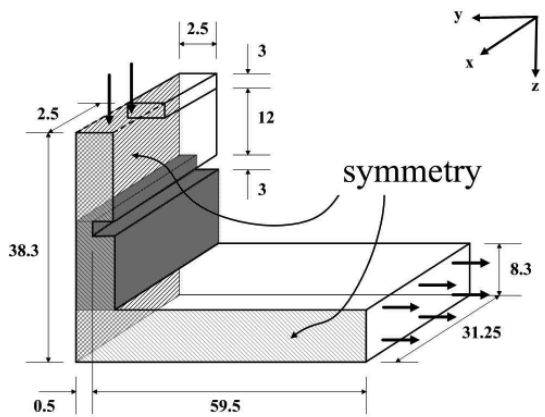


Fig. 2 Simulation domain for APCVD injection system

완화시켜 최종 분사시 혼합기체의 유량을 x 축 방향에 대해 균일하도록 형성한다. 균일하게 형성된 혼합기체는 유리기판에 분사되고, 가열된 유리기판 표면에서 반응이 일어나 박막이 형성된다. 박막이 증착된 후, 잔여 혼합기체와 부산물은 양쪽 출구로 빠져 나간다.

Fig.1 (b)는 분배기 마지막 스텝의 분배구 하나에 대해 확대한 그림이다. 마지막 스텝에서 분배된 혼합기체는 국소적으로 불균형한 유량 분포를 나타내게 되는데 마지막 스텝에서 인젝터 출구까지의 거리가 충분히 확보가 되었을 때 균일한 유동의 혼합기체가 분사되지만 공간상의 제약으로 충분한 거리(h)를 확보하기가 쉽지 않다. 그러므로 Fig. 1 (b)의 확산기 슬릿을 추가하여 z 축 방향의 유동에 큰 저항을 줌으로써 유동이 x 축 방향으로 강제 분산되게 한다. 슬릿의 크기(δ)가 작을수록 z 축 방향에 상대적으로 큰 압력구배가 형성되어 x 축 방향으로의 분산을 용이하게 하여 균일한 유동을 형성할 수 있다. 그러나 제작상 한계와 슬릿의 크기가 작을 경우 발생할 수 있는 공정상 문제 때문에 일정한 크기의 슬릿을 중복 배치하여 균일한 유동을 유도하였다.

3. 결과 및 토의

본 연구에서는 유량의 변화에 대해 슬릿의 수를 증가시키면서 변화하는 유량 균일도를 정량적으로 파악하기 위해 수치 해석적 연구를 수행하였다. 연구를 수행하기 위한 수치해석 영역에는 분배기 마지막 스텝의 분배구 중 하나를 중심으로 좌우의 분배구와의 중간 지점을 기준으로 설정하고, 분배구부터 분배구를 통과하는 유체가 지나가는 하부 구조까지의 영역이 포함되었다. 이때 수치 해석상 오류를 방지하기 위해 충분히 긴 출구를 설정하였다. 모든 경우의 형상은 효과적인

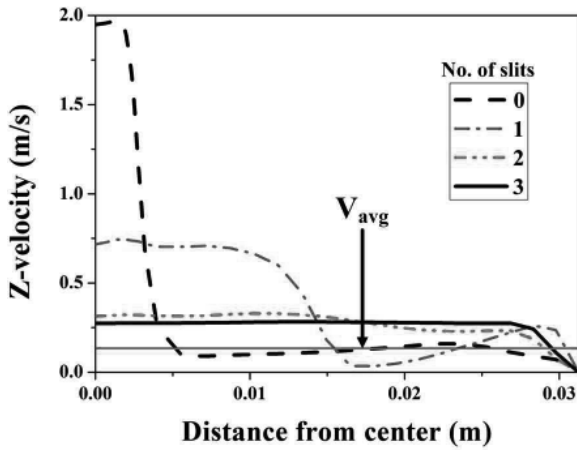


Fig. 3 Z-velocity profiles for the different number of slits where flow rate 80lpm

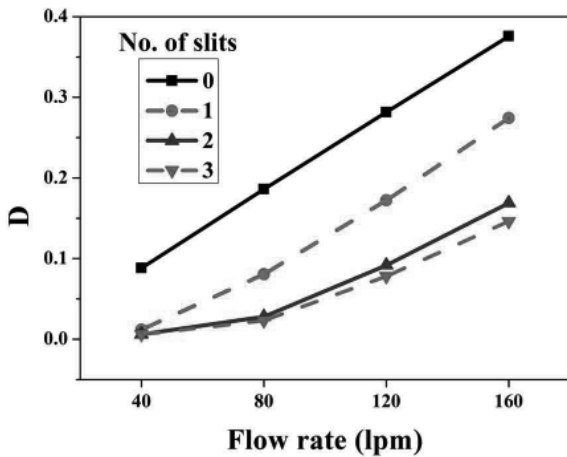


Fig. 4 Trends of variance D according to the increasing flow rate for each cases

해석을 위해 대칭조건을 이용하여 형상의 1/4을 해석하였다. Fig. 2는 수치해석 영역을 도시한 그림이다. 각각의 경우는 Fig. 2의 음영으로 처리된 부분(슬릿 영역)을 제거(슬릿이 없는 경우) 또는 중복 배치(슬릿이 2개, 3개인 경우)하여 구성하였다. 각 경우별로 입구 조건은 인젝터 입구에서의 유량 40, 80, 120, 160lpm (liters per minute)에 대한 5단계의 스텝을 포함한 분배기와 작동 유체가 층류 유동 범위 내에서 작동하여야 하는 조건을 고려하여 계산하였다. 출구 조건은 개방 조건으로 설정하였고, $x=0, y=0$ 인 평면(빗금친 평면)은 대칭 조건을 사용하였다. 해석 모델은 층류 모델을 사용하였고, 해석 도구는 FLUENT를 사용하였다. 실제 공정에서 사용하는 혼합기체는 캐리어 가스(carrier gas)인 N_2 가 대부분이므로 혼합기

체의 물성치는 N_2 로 가정하였다.

Fig. 3은 수치해석 결과로부터 유동의 균일도를 파악하기 위해 유량 80lpm인 경우 인젝터 출구에서 z방향 속도의 분포를 나타낸 것이다. 슬릿이 없는 경우 인젝터의 중심으로 유량이 집중됨을 알 수 있고 슬릿 개수가 늘어남에 따라 속도는 x축 방향을 따라 균일하게 분포됨을 알 수 있다. 또한 다른 유량에서의 슬릿의 개수에 따른 속도분포도 같은 경향을 유지한다.

속도 분포의 균일성을 정량적으로 파악하기 위하여 다음과 같이 불균일도 D를 정의하였다.

$$w_i = \frac{v_{avg} - v_i}{v_{avg}} \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n |w_i|^2} \quad (2)$$

Fig. 4는 각각의 슬릿 수에 대한 유량의 변화에 따른 불균일도의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 슬릿이 없는 경우와 1개인 경우는 1개 이상인 경우들 사이의 비교에서보다 상대적으로 큰 차이로 감소하였다. 그리고 슬릿이 1개 이상인 경우를 비교해 보았을 때 유량에 따른 불균일도의 변화의 추세는 슬릿 수가 증가함에 따라 완만해졌다. 그러므로 슬릿을 추가함으로써 균일도 향상을 유도할 수 있고, 슬릿 수를 증가시킴으로써 유량의 변화에 따른 민감도가 감소하는 시스템을 구성할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 APCVD장비의 인젝터에서 분사되는 혼합기체의 유량 균일도의 향상과 더불어 공정조건의 영향을 최소화 하는 것이다. 연구에 사용된 인젝터는 대면적 유리기관의 모든 부분에 동일한 양의 혼합기체는 배분해주는 분배기와 분배기에서 분사된 국소적인 유량 집중을 완화시켜주는 확산기로 구성하였다.

수치해석 영역을 설정하고 슬릿 수 및 유량의 변화에 따른 연구를 수행하였다. 수치해석 결과, 슬릿의 개수가 증가함에 따라 불균일도는 감소되고, 유량의 변화에 따른 불균일도의 변화량도 감소하였다. 현재 본 연구에서 사용한 시스템에 대하여 유량의 변화 농도 균일도에 미치는 영향 관한 연구가 진행 중에 있으며, 앞으로 표면 반응에 대한 연구를 수행할 예정이다.



참고문헌

- [1] 2002, Ohring, M., *Materials Science of Thin Films*, Academic press, USA, pp.293-302.
- [2] 1999, DeDontney et al., "Method of manufacturing an injector for chemical vapor deposition processing," *United States Patent*
- [3] 2009, Yan, Y. et al., "Design of an effective liquid distributor with the flat constructal network," *Chemical Engineering Research and Design*, Short Communication.
- [4] 2009, Zhiwei, F. et al., "Numerical Investigation of Constructal Distributors with Different Configurations," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol.17-1, pp.175 - 178.