

< 논 문 >

회전박막제조기의 진동 및 입자발생이 박막제조에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of the Vibration and Particle Generation of a Spin Coater on Thin Film Coating

허진욱* · 권태종** · 정진태*** · 한창수*** · 안강호***

J. W. Heo, T. J. Kwon, J. Chung, C. S. Han and K. H. Ahn

(2001년 2월 21일 접수 : 2001년 6월 14일 심사완료)

Key Words: Thin Film Process(박막공정), Spin Coater(회전박막제조기), Vibration(진동), Frequency Analysis(주파수분석), Particle Generation(입자발생)

ABSTRACT

A spin coater is a machine to coat wafer or LCD display with thin film. Vibration in the spin coater may be one of main troubles in the coating process. In this paper, we focus on the difference between two spin coaters. Vibration sources are identified by experimental approach and are compared to find the difference between the two spin coaters. Also, the particle concentration is observed by laser particle counter (LPC) for the two spin coaters, when the spin coaters are working. It is also considered whether the defect rate is proportional to the particle concentration. The result shows that particle generation in the coating process is related to excessive vibration of the spin coater shaft and the particles influence the defect rate of the thin film product.

1. 서론

최근들어 반도체(semiconductor)와 TFT-LCD의 수요가 증가하면서 이들을 생산하는 장비 중 하나인 스피너에 대한 관심이 높아지고 있다. 반도체나 TFT-LCD는 코팅, 노광, 세정 등의 공정을 거쳐 완성되는데, 스피너(spinner, 회전박막제조기)는 코팅 공정에 쓰이는 장치로서, 코팅 용액을 웨이퍼(wafer)나 유리(glass)와 같은 평판에 떨어뜨린 후 평판을 회전시켜 그 원심력을 이용하여 평판에 얇은

코팅막을 형성시킨다. 이렇게 생산되는 제품은 코팅면이 평탄하여야 하며, 코팅면 두께가 전면에 걸쳐 균일하여야 한다. 실제 생산현장에서 발생하는 회전박막공정의 문제점은 스피너의 진동 등의 교란에 액적의 발생 및 발생된 액적이 회전체 벽과 액적간의 충돌 후 거동에 의한 입자발생, 그리고 입자 침착에 의한 표면요철 형성 등이며, 이러한 문제들은 양질의 제품 생산에 큰 걸림돌이 되고 있어서 이에 대한 대책이 시급한 현실이다. Fig. 1은 코팅공정에서 발생하는 코팅 용액의 미세한 입자(particle)로써, 이러한 미세한 입자들이 코팅 표면에 침착되어 제품불량의 큰 원인이 된다.

지금까지 이러한 코팅 용액 입자에 의한 제품 불량 원인에 대하여 기류나 용액재료, 또는 입자 측면에서는 많은 연구가 진행 되어왔으나,^(1~4) 스피너 진동과 코팅 공정 중에 발생하는 용액 입자에 의한 제품 불량에 대해서는 거의 연구되지 않은 실정이다. 하지

* 정희원, 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** (주)삼성전자

*** 정희원, 한양대학교 공학대학 기계공학과

E-mail : jchung@hanyang.ac.kr

Tel : (031) 400-5287, Fax : (031) 406-5550

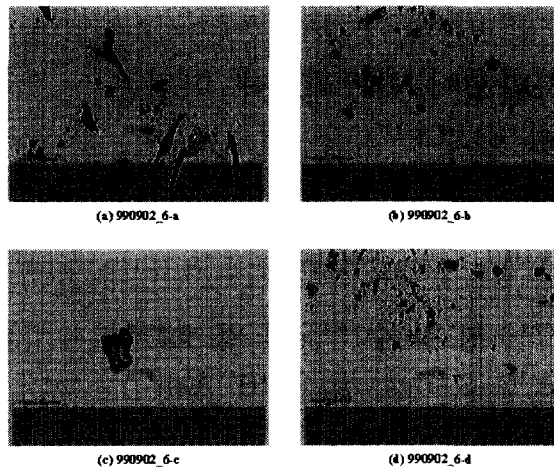


Fig. 1 Particles in spin coater

만 코팅과정 중에 스피너 운전 시 발생하는 진동은 제품불량의 원인이 될 수 있으며, 지속적인 진동은 제품의 불량뿐만 아니라 스피너 각 부분의 피로와 마모를 초래하여 스피너의 수명을 단축시킬 수 있음은 물론 이로 인한 제품의 불량을 더욱 확대시킬 우려가 있다. 그러므로, 제품의 수율 향상을 위한 스피너의 유지, 보수를 위해서는 스피너의 진동에 대한 보다 많은 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 스피너의 진동과 입자발생에 의한 제품불량과의 관계를 분석하기 위해, 먼저 불량률이 서로 다른 동종의 두 스피너 각 부의 진동을 분석하여 그 차이점을 비교하고, 다음으로 운전 중인 두 스피너에서 발생하는 입자농도를 측정, 비교함으로써 스피너의 진동과 입자발생농도의 상관관계를 분석하였다. 그리고, 입자발생농도 측정시 대상이 된 평균의 불량률을 파악함으로써 최종적으로 진동과 제품불량과의 상관관계를 고찰하였다.

2. 진동실험

2.1 실험방법

불량률이 서로 다른 동종의 스피너에서 발생하는 진동을 비교, 분석하기 위한 실험으로 두 스피너에 대하여 주파수분석실험을 수행하였다. Fig. 2는 주파수분석실험의 장치 구성을 나타낸다. 운전 중인 스피너에는 다양한 진동원 및 진동전달경로가 있기 때문에 진동 저감을 위해서는 우선 발생원에 대한 각 부분 별 진동 기여도를 측정하여야 하므로 가속도계를 스피너의 각 부에 부착하고 스피너의 회전속도를

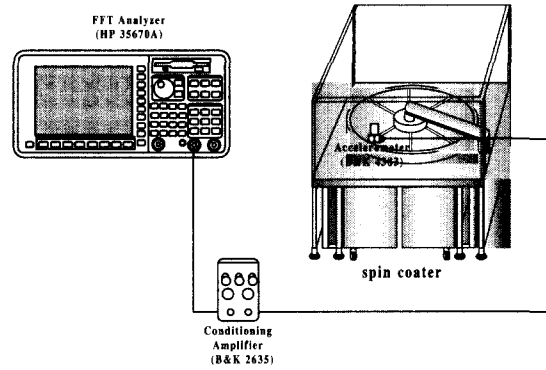


Fig. 2 Experimental setup for signal analysis

0 rpm에서 1100 rpm까지 100 rpm 간격으로 증가시켜 가며 회전시켰을 때 나오는 진동신호를 측정하였다. 가속도계를 통해 얻어진 진동신호를 조건증폭기(conditioning amplifier)로 증폭한 후, 주파수분석기(FFT analyzer)를 통해 파워스펙트럼(power spectrum)으로 변환하여 주파수 성분 별로 분리하였다. 이렇게 얻어진 파워스펙트럼을 바탕으로 각 회전속도에서의 총진동량을 계산하고, waterfall plot을 그림으로써 두 스피너의 진동 특성을 비교 분석하였다. 가속도계는 B&K 4383을 사용하였고, 조건증폭기는 B&K 2635, 주파수분석기는 HP 35670A를 사용하였다. 주변 노이즈에 의한 영향을 배제하기 위해 회전수가 0 rpm일 때의 진동신호를 측정하여 각 실험 데이터에 감안하였다.

2.2 실험결과

운전 중인 두 스피너에서 나오는 진동현상의 차이점을 파악하기 위해 먼저 각 실험위치에서의 총 진동량을 비교하였다. 실험 결과로부터 두 스피너의 각 부에서 나오는 진동은 회전축의 반경방향을 제외한 다른 부분에서 매우 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 두 스피너의 진동의 차이는 회전축의 반경방향에서 매우 크게 나타나고 있으며, 그 차이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 스피너 ②가 스피너 ①보다 2배 크게 나타나고 있다. 이러한 현상을 자세히 분석하기 위해, 두 스피너의 회전축 진동을 waterfall plot 형태로 Fig. 4에 도시하였다. 그림에서, 스피너 ②의 1X, 2X, 3X, 4X, 5X 등의 조화 성분⁽⁵⁾이 확연히 크게 나타나고 있으며, 이로부터 스피너 ②는 스피너 ①에 비해 질량불평형, 축어긋남, 축의 불균형 등의 측정렬이 불량하여 축부분에서 큰 진동을 일으킴을 알 수 있다. 특히, 1X 성분

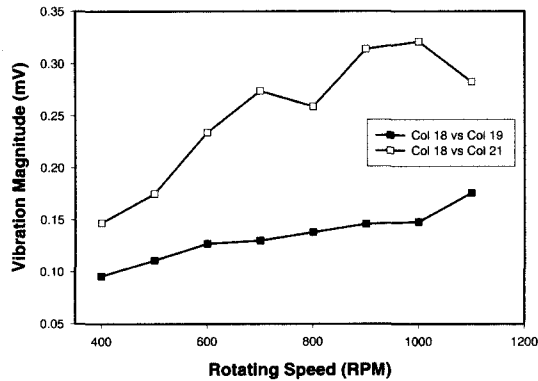
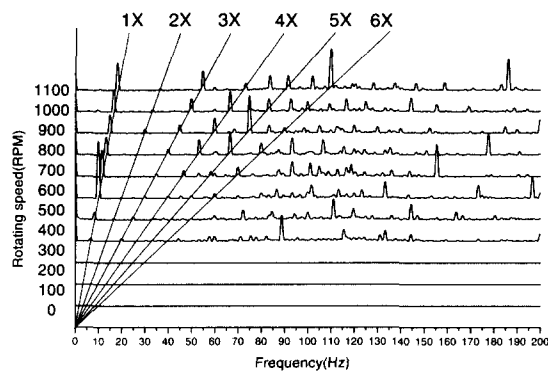
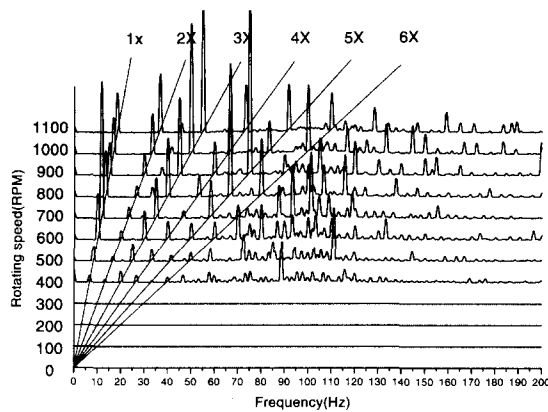


Fig. 3 Comparison between the overall vibration of the shaft for the spin coater ① and spin coater ②.



(a) Waterfall plot for spin coater ①



(b) Waterfall plot for spin coater ②

Fig. 4 Comparison of the waterfall plots for the spin coater ① and spin coater ②

은 약 700 rpm에서 매우 크게 증가하는 것은 이 회전속도에서 스펀코터의 위험속도⁽⁶⁾(critical speed)를 지나기 때문이다.

베어링부의 결함에 의한 진동 주파수를 계산하였으

나 waterfall plot의 각 피크와 일치하는 점을 찾지 못하였다. 다만, 스펀코터 ①에서는 나오지 않는 2.4X 성분이 스펀코터 ②에서 나타남을 알 수 있는데, 일반적인 볼베어링의 볼은 회전축 회전속도의 2.4 배로 회전하므로,⁽⁷⁾ 축이 1회전할 때 볼은 2.4번 회전을 하게 된다. 따라서 질량불평형에 의한 1X 성분의 진동이 베어링부의 볼 회전과 연성되어 2.4X 성분으로 나타난다고 할 수 있다.

다시 정리하면, 불량률이 높은 스펀 코터에서 높은 진동이 측정되며, 그 진동의 차이는 회전축의 진동이 원인이 된다. 스펀코터에서 회전축은 코팅되는 평판에 직접 회전력을 주며, 또한 코팅 용액은 전단력에 의해 입자를 발생하기 쉬우므로 회전축 반경방향 진동의 차이가 입자발생과 관계가 있다는 결론을 내리는 데에 타당한 실험 결과를 얻었다고 할 수 있다.

3. 입자농도 측정실험

3.1 실험방법

주파수분석실험에서 나타난 두 스펀코터의 진동의 차이점과, 코팅공정 중에 두 스펀코터에서 발생하는 입자농도와의 관계를 분석하기 위해 공정중인 스펀코터 배기부에 Fig. 5와 같이 입자추출용 튜브(sampling tube)를 설치하고, 레이저 입자 계수기(LPC, Laser Particle Counter)를 이용하여 입자의 크기에 따른 입자농도를 실시간으로 측정하였다. 즉, 실험에서 측정된 입자농도는 코팅 대상이 되는 평판이 스펀코터에 투입되어, 일련의 코팅공정을 거쳐 스펀코터에서 배출되기까지 과정에서 발생하는 입자의 농도를 나타낸다. 레이저 입자 계수기에서 출력되는

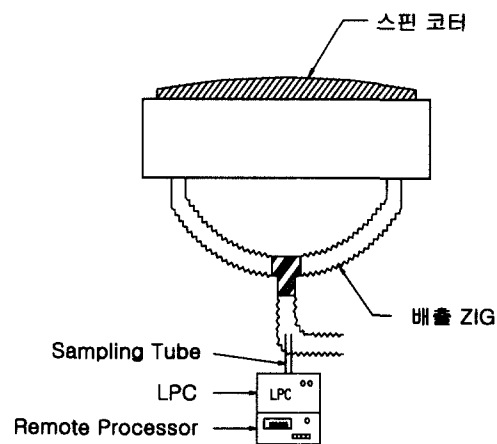


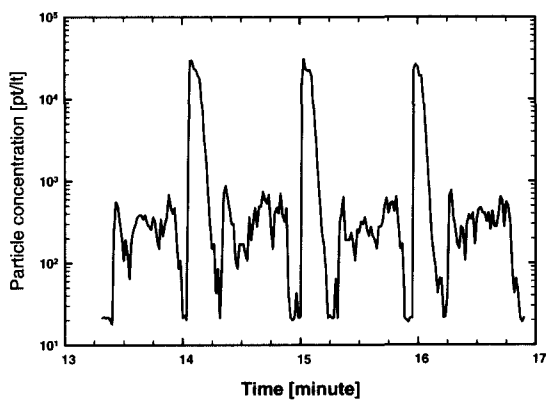
Fig. 5 Experimental setup for particle sampling

신호의 처리는 원거리 처리기(remote processor)를 이용했고, 최종 데이터를 PC에 저장하여 결과를 출력하였다. 실험에서 사용된 레이저입자계수기(LPC)는 TSI사의 Model 3753 laser particle counter를 이용하였다.

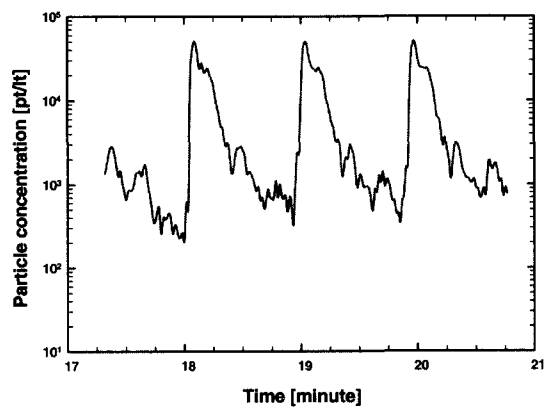
3.2 실험결과

실험결과로 얻어진 입자농도의 단위는 pt/lt 로 나타내었다. pt/lt 는 리터(liter)당 추출된 입자 개수(number of particles/liter)를 나타내며 log 스케일로 표시한다.

Fig. 6의 (a)와 (b)는 각각 스피너 ① 과 스피너 ② 에 대해 추출된 입자농도를 나타낸 그래프이다. 가로축은 추출시간을 나타내고, 세로축은 입자농도를 나타낸다. 그림에서, 평판이 스피너에 투입되고 배출될 때 까지 매 평판마다 일정한 경향이 재현되고 있으며, 입자 농도가 최고일 때는 스피너가 최고속도로 운전할 때이다. 코팅공정 중에 스피너에



(a) Particle concentration for the spin coater ①



(b) Particle concentration for the spin coater ②

Fig. 6 Comparison of the particle concentration for the spin coater ① and spin coater ②

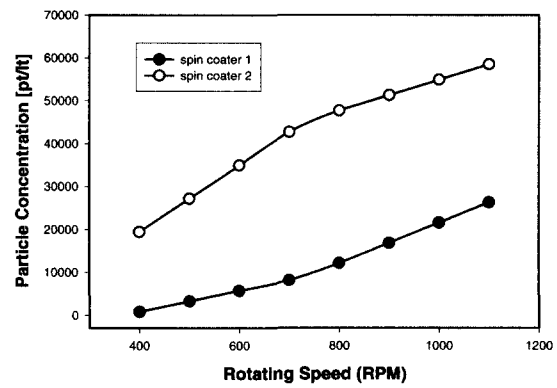


Fig. 7 Particle concentrations with respect to rotating speed

서 발생하는 입자를 시간에 따라 측정하였으므로, 이를 회전속도에 따른 입자발생량의 그래프로 나타낼 수 있도록 평판이 회전을 시작하여 최고속도까지 도달하는 동안에 발생하는 입자의 농도만을 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 가로축은 회전속도를 나타내고, 세로축은 입자발생농도를 나타내는 것으로써, 스피너 ① 에서 발생하는 입자의 농도가 스피너 ② 에서 발생하는 입자의 농도보다 약 2배 크게 나타남을 알 수 있다.

4. 진동과 입자발생의 상관성 분석

앞선 실험에서 두 스피너의 진동은 회전축을 제외한 다른 부분에서는 매우 비슷한 크기의 진동을 나타내고 있으며, 회전축의 반경방향 진동만이 약 2배의 크기 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 회전축의 진동이 2배가 되는 스피너 ② 에서 공정 중에 발생되는 입자의 농도가 스피너 ① 보다 2배 큼을

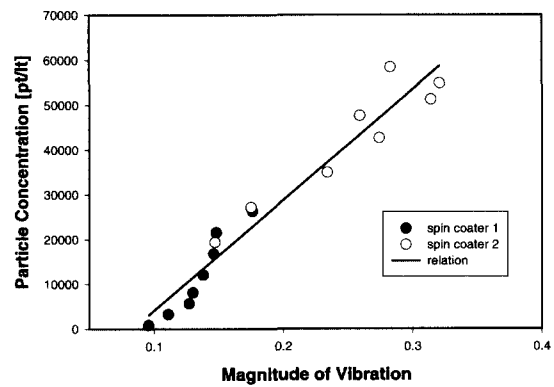


Fig. 8 Co-relation between the magnitude of vibration and the particle concentration

알 수 있었다. Fig. 8은 두 스펀코터의 회전축에서 반경방향으로 발생하는 진동량과 코팅 공정 중에서 발생하는 입자농도의 관계를 나타내는 그래프이다. 두 스펀코터 모두 회전속도가 증가함에 따라 진동량이 증가하며, 진동량이 증가함에 따라 발생하는 입자의 농도 또한 증가한다. 그러나, 스펀코터 ②의 진동량이 스펀코터 ①보다 약 2배 높게 나타나고 그에 따라 발생하는 입자의 농도 또한 2배 높게 발생함을 알 수 있다.

5. 입자농도와 제품불량과의 관계

실제 코팅공정 중 발생하는 제품불량과 레이저 입자 계수기로 측정된 발생 입자농도와의 상관관계를 관찰하기 위하여 입자발생 계측실험 시 생산된 제품의 표면에 발생된 오염입자의 수를 측정하였다. 이때 제품에 오염된 입자의 수를 불량률이라 정의하였다. 그리고 오염된 입자의 수는 코팅용액의 영향에 의한 오염만을 고려할 수 있도록 코팅용액 입자, spot 입자, 외부입자의 수만을 측정하였다. Fig. 9는 이렇게 측정된 불량률과 코팅공정에서 측정된 입자발생농도의 최대값(스핀코터 최고속도 운전 시의 입자농도)의 관계를 나타낸 것으로, 불량률과 입자발생농도의 최대값은 서로 상관관계에 있음을 보여준다. 그러나 보다 확실한 결론을 얻기 위해서는 보다 많은 양의 데이터의 확보가 요구된다.

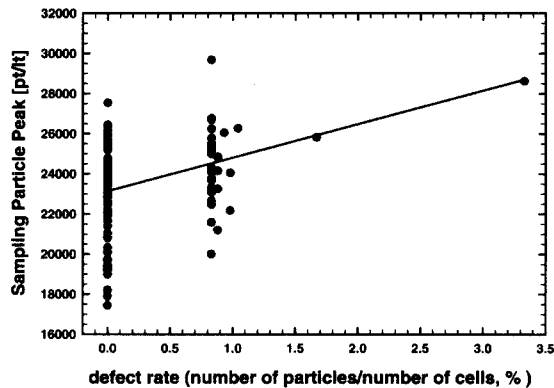


Fig. 9 Relationship between the percentage of defect and the sampling particle peak

6. 결론

회전박막공정에 사용되는 스펀코터는 스펀들 축,

베어링, 폴리, 벨트, 서보 등으로 구성된 복잡한 구조를 하고 있다. 스펀코터에서 발생하는 심각한 불량중의 하나인 코팅용액 입자발생은 스펀코터가 가지는 운동에너지가 스펀 컵(spin cup)내부에 응고된 코팅액이나 도포중의 코팅액에 작용하여 일어난다고 할 수 있다. 특히, 스펀코팅시에 발생하는 진동은 교란으로서 작용하여 액적을 유발하고, 높은 운동에너지를 가지는 진동에 의해 스펀 컵 내부에 응고된 코팅용액이 탈락된다. 이러한 스펀코터에서, 공정중 나타나는 스펀코터의 운동특성을 고찰하는 것이 스펀코터의 성능을 판단하는 중요한 기준의 하나가 된다.

본 논문에서 스펀코터에서 발생하는 진동과 코팅용액 입자발생, 그리고 그로 인한 제품불량에 대해 분석하였다. 불량률이 서로 다른 두 스펀코터의 진동을 분석하여 축부분의 진동이 가장 큰 차이를 나타냄을 파악하였으며, 레이저 입자 계수기를 이용하여 코팅공정 중에 발생하는 코팅용액의 입자농도를 측정함으로써 진동이 심한 스펀코터에서 입자가 많이 발생하고 회전속도 및 진동량에 비례하여 입자가 많이 발생함을 확인하였다. 그리고, 입자농도 측정 시 생산된 제품의 불량률을 측정하여 입자농도와 비교함으로써 입자발생과 제품불량률은 서로 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서, 스펀코터의 박막공정 시 발생하는 불량은 스펀코터의 진동과 깊은 관련을 가지고 있으며, 이러한 진동을 저감함으로써 불량률 저감에 기여를 할 것으로 기대할 수 있다.

참고 문헌

- (1) Forcada, M. L. and Mate, C. M., 1993, "The Flow of Thin Viscous Liquid Film on Rotating Disk," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 160, pp. 218~225.
- (2) Lingwood, R. J., 1997, "Absolute Instability of The Ekman Layer and Related Rotating Flows," *J. Fluid Mech.*, Vol. 331, pp. 405~428.
- (3) 서용권, 1993, "직사각형 내부에서의 2차원 스펀업," *대한기계학회논문집*, 제 17 권, 제 7 호, pp. 1805~1812.
- (4) Chuah, Y. K., Tsai, C. H. and Hu, S. C., 2000, "Simultaneous Control of Particle Contamination and VOC Pollution under Different Operating Conditions of a Mini-environment that Contains a Coating Process," *Building and*

Environment, Vol. 35, pp. 91~99.

(5) 정진태, 서상준, 은희준, 1989, "승용차용 교류 발전기의 소음 특성 규명," 대한기계학회논문집 제 13 권, 제 1 호, pp. 40~47.

(6) Dimarogons, A., 1998, "Vibration for

Engineers," Prentice Hall International Editions, p. 774.

(7) Harris, C. M., 1997, "Shock and Vibration Handbook," McGrawhill, Fourth Edition Volume 2, chapter 40, p. 5.