

## 반도체 세정 공정 평가를 위한 나노입자 안착 시스템 개발

남경탁\*, 김호중\*\*, 김영길\*, 김태성\*\*\*

\*성균관대학교 기계공학과, \*\*성균관대학교 성균나노과학기술원,

\*\*\*성균관대학교 기계공학부 & 성균나노과학기술원

### 초록

As the minimum feature size decrease, control of contamination by nanoparticles is getting more attention in semiconductor process. Cleaning technology which removes nanoparticles is essential to increase yield. A reference wafer on which particles with known size and number are deposited is needed to evaluate the cleaning process. We simulated particle trajectories in the chamber by using FLUENT. Charged monodisperse particles are generated using scanning mobility particle sizer (SMPS) and deposited on the wafer by electrostatic force. The experimental results agreed with the simulation results well. We calculate the particles loss in pipe flow theoretically and compare with the experimental results.

### 1. 서론

반도체 선폭이 점점 작아지고 공정이 정밀해짐에 따라 입자에 의한 오염의 제어가 중요해지고 있다. 2006년 International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)에 의하면, 2009년에 50 nm 공정기술이 사용되어 제어해야 될 입자의 크기는 25 nm 가 되어야 한다. 이를 위해 클린룸과 세정 공정의 최적화 및 공정 중에 발생하는 미세입자 제어기술 등이 필요하다.

Table 1. DRAM half pitch and critical particle size (ITRS, 2006 Update).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
DRAM 1/2 pitch (nm)	70	65	57	50	45	40
Critical particle size (nm)	35	32.5	28.5	25	22.5	20

본 연구에서는 세정 공정 평가에 필요한 표준 웨이퍼 제작을 위한 입자 안착 시스템 (Particle Deposition System)을 개발하였다. 입자 안착 시스템은 웨이퍼 표면에 특정 크기의 입자를 일정한 농도로 안착시킬 수 있는 시스템으로, 이를 이용하여 세정 공정의 효율 평가에 사용될 표준 웨이퍼를 제작할 수 있다.

입자 안착 시스템은 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)와 deposition chamber로 구성되며, 실험을 통해 웨이퍼 표면에 안착된 결과를 FLUENT를 이용한 유동 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 챔버 인가전압과 안착 공정시간이 입자의 안착에 미치는 영향에 대해 알아보았고, 입자의 관내 유동에 있어서의 손실을 이론값과 비교하였다.

### 2. 실험 방법

Fig. 1은 입자 안착 시스템의 개략도이다. 입자 생성 매커니즘은 다음과 같다.

필터를 거친 sheath air가 고속으로 atomizer에 들어가서 DI water를 분무시킨다. 이때 에어로졸이 생성되며 dryer를 통해 입자 외의 수분을 제거시킨다. 생성된 입자들은 전하량이 불규칙하기 때문에

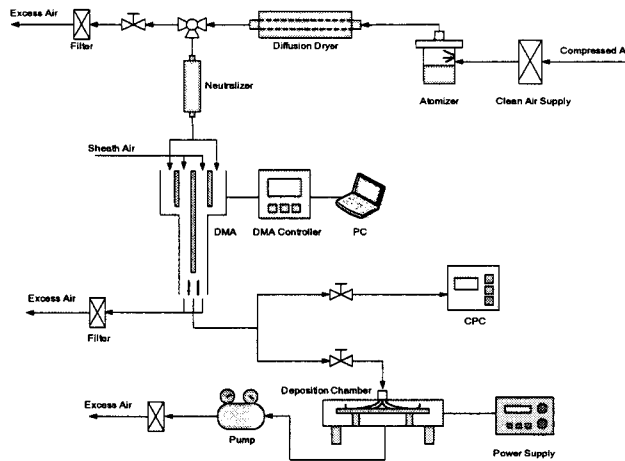


Fig. 1. Schematic of Particle Deposition System.

neutralizer를 통해 평형화 시켜준 후 DMA에서 인가 전압에 따라 특정 크기의 입자만을 분류해낸다. 인가 전압과 입자 크기의 관계식은 다음과 같다.

$$d_p = \frac{2n_p e C_c V_d L}{3\mu Q_{sheath} \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1)$$

일정한 전압을 인가하여 단분산 입자를 얻을 수 있고, CPC를 통해 입자의 수농도를 알 수 있다. SMPS를 통해 얻은, 크기와 농도를 알고 있는 입자에 정전기력을 가하여 웨이퍼 표면에 안착시킨다.

실험에는 100, 200, 300 nm 크기의 PSL 입자를 섞어서 사용하였고, DMA에 1200 V의 전압을 인가하여 100 nm PSL 입자만 웨이퍼 표면에 안착시켰다. 챔버에 유입되는 에어로졸의 유량은 0.3 lpm을 유지하였고, 챔버에는 3000 V의 전압을 1분동안 인가하여 8 inch 웨이퍼에 안착시켰다.

또한, DMA와 챔버 간의 튜브 길이를 30 cm 증가시켜 에어로졸의 관내유동에 있어서의 손실을 알아보았다.

실험 결과는 FLUENT를 이용하여 구한 에어로졸 유동 시뮬레이션과 비교해 보았다.

챔버 내부의 정상상태 유동을 해석하기 위해 사용된 지배 방정식은 다음과 같다.

연속 방정식 :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

운동량 방정식 :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + F_E \quad (3)$$

에너지 방정식 :

$$\nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) \quad (4)$$

여기서  $k_{eff}$  는 유효 열 전도도를 나타내며,  $\vec{\tau}$  는 점성 항이며, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{\tau} = \mu \left[ \nabla \vec{v} + \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (5)$$

위 식에서  $I$ 는 단위 텐서를 나타낸다. 식 (3)에서  $F_E$ 는 입자에 작용하는 정전기력이다.

위와 같은 비선형지배 방정식의 해를 구하기 위해 FVM (Finite Volume Method)을 사용하였다<sup>[11]</sup>. 또한 이산화를 통해 각 변수에 대해 방정식을 계산하기 위해 SIMPLE 알고리즘과 층류 모델을 사용하였으며, 브라운 운동을 고려하였다. 챔버 입구의 지름은 7 mm, 입구와 웨이퍼 사이의 거리는 25 mm 이고, 작동압력은 상압이며, 중심축에 대해 축대칭으로 2D 해석을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Surface scanner (Tencor Surfscan-SP1)를 이용하여 웨이퍼 표면을 확인하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 90 ~ 130 nm 크기의 PSL 입자가 정전기력에 의해 웨이퍼 중심에 안착되었고, 안착된 면적의 크기가 Fig. 3의 수치해석 결과와 유사하였다.

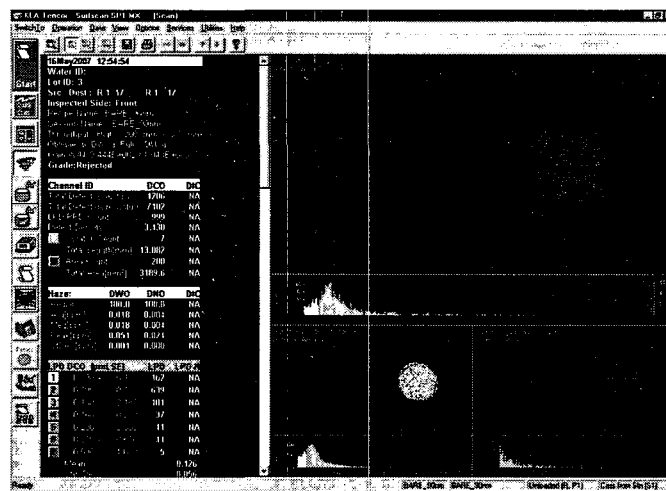


Fig. 2. Deposition result by surface scanner.

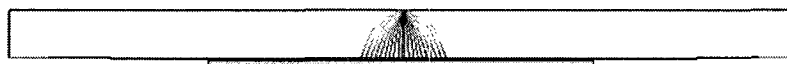


Fig. 3. Particle trajectories.

100 nm PSL 입자에 대해 유량 (0.3 lpm)과 안착 공정시간 (1 min)을 유지하고, 챔버 인가 전압을 1, 2, 3 kV로 증가시켰다. 전압이 증가함에 따라 입자에 작용하는 정전기력이 커지기 때문에 입자의 안착 면적이 점차 작아지는 것을 알 수 있다 (Fig. 4(a)).

100 nm PSL 입자에 대해 유량 (0.3 lpm)과 챔버 인가 전압 (1 kV)을 유지하고, 안착 시간을 1, 2, 3 min으로 증가시켰다. Figure 4(b)에서 볼 수 있듯이 안착 면적의 변화없이 안착된 입자의 수농도만 일정한 비율로 증가하였다.

Figure 4(b)의 case 1을 기준으로 DMA와 챔버 사이의 튜브 길이를 30 cm 증가시킨 경우 (case 2), 입자의 안착 면적은 변화가 없었지만 안착된 입자의 수농도는 약 30 % 감소하였다.

에어로졸의 관내유동에서의 통과율은 다음과 같다.

$$P = 1 - 5.5\mu^{2/3} + 3.77\mu \tag{6}$$

여기서  $\mu$ 는 무차원의 침착 파라미터를 나타내며, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu = \frac{DL}{Q} \tag{7}$$

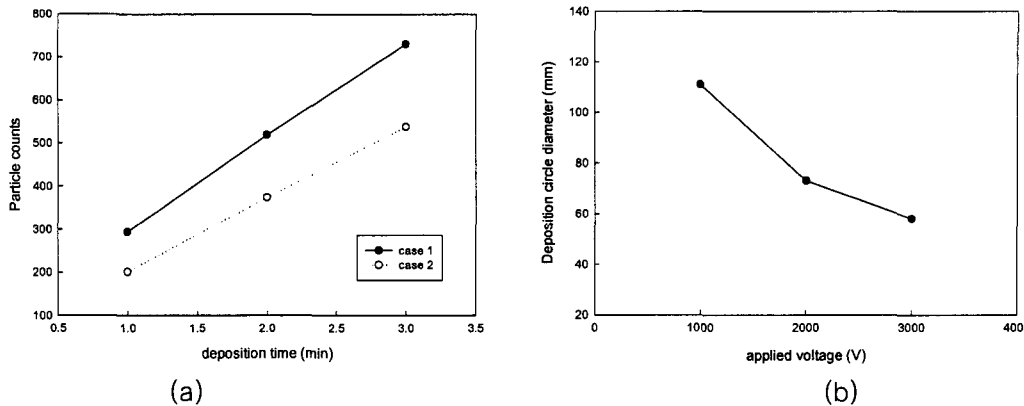


Fig. 4. Deposition results - varying applied voltage(a) and deposition time(b).

위 식에서  $D$ 는 입자의 확산계수,  $L$ 은 튜브의 길이,  $Q$ 는 튜브내의 체적유량이다. 식에 의하면 입자의 튜브내에서의 손실은 거의 없다. 실험에서의 손실은 시스템에서 에어로졸의 유동에 많은 곡선운동이 존재하기 때문에 발생한 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 입자 안착 시스템에서의 입자의 거동에 대한 수치적 해석과 실험 결과를 비교하였다. 수치적 해석에 있어서 정전기력의 영향을 입자에 작용하는 가속도로 변환하여 구하였고, 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과가 유사하였다. 그리고, 안착 공정시간이 증가함에 따라 안착된 입자의 수농도가 증가하고, 챔버의 인가 전압이 증가함에 따라 입자를 끌어당기는 정전기력이 강해져서 입자의 안착 면적이 작아지는 것을 보았다. 또한, 에어로졸의 유동 거리가 증가함에 따라 입자의 손실이 발생하였다. 이러한 손실을 줄이기 위해서는 유동 거리를 최소화해서 DMA에서 분류된 입자를 바로 안착시킬 수 있어야 한다.

입자 안착 시스템으로 표준 웨이퍼를 제작하여 세정 실험을 수행함으로써 세정 공정의 효율을 알아볼 수 있고, 세정 공정의 평가를 통해 최적의 세정 조건을 찾을 수 있다.

#### 후기

본 연구에 도움을 주신 SEMES (주) 에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] Patankar, S. V., Theoretical Hydro-dynamics 5<sup>th</sup> Ed, Hemisphere, New York, 1990.
- [2] Woo K. S., Benjamin Y. H. Liu, "A Particle Deposition System for the Preparation of Standard Calibration Wafers," Institute of Environmental Science, Annual Technical Meeting, 제43권, 제2호, pp. 84-92, 1997.
- [3] Hinds William C., Aerosol Technology : Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles 2<sup>nd</sup> Ed, John Wiley & sons, Inc., New York, 1999.