

## 개선형 ISPM에서 공기역학적 렌즈의 최적조건에 대한 실험적 연구

임효재<sup>†</sup> · 차옥환\* · 설용태\*\*

<sup>†</sup>호서대학교 기계공학전공, \*호서대학교 반도체제조장비국산화연구센터, \*\*호서대학교 전기공학전공

### An Experimental Study on Optimal Condition of Aerodynamic Lens in the Modified ISPM

Hyo Jae Lim<sup>†</sup>, Ok Hwan Cha\*, and Yong Tae Sul\*\*

<sup>†</sup>School of Mechanical Engineering, Hoseo University,

\*Semiconductor Equipment Research Center, Hoseo University,

\*\*School of Electronic Engineering, Hoseo University

#### ABSTRACT

An experimental study was conducted on the optimal configuration and size of ADFL(Aerodynamic Focusing Lens) which used in modified ISPM(In-Situ Particle Monitoring). The particle counting efficiency has been known as a function of distance and size of ADFL, thus we varied these parameters to find out the optimum values. From a result of experiment, it was found that two lenses and 6mm space between them showed a maximum particle measuring efficiency. To apply this modified ISPM to semiconductor manufacturing field, we need more experiment about the pressure change, flow rate, and input particle size.

**Key Words :** In-Situ Particle Monitoring(ISPM), Aerodynamic Focusing Lens(ADFL), Thin Plate Orifice, Sensing Volume

## 1. 서 론

반도체 산업은 고집적 회로 설계기술과 이에 수반되는 소자의 공정기술 발달과 함께 고성장을 해왔으며, 향후 더 복잡해진 회로를 더욱 작게 집적한 0.1 마이크로 이하의 차세대 반도체 생산을 위해서 새로운 재료 및 제조·공정기술의 개발이 필요하다. 또한, 반도체 소자의 생산 수율을 향상시키기 위하여 생산환경의 오염 제어에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 수년 전부터 반도체 제조장비 내 입자오염이 중요한 문제로 인식되고 있다. 특히 반도체 제조 공정은 대부분 진공상태에서 이루어지므로, 진공 챔버내의 입자 측정 및 입자 발생 원인에 대한 연구가 매우 중요하다.

현재 반도체 제조공정 중의 입자오염을 모니터링 하는 데는 입자의 광학적 빛 산란 방식을 이용하여 실시

간으로 진공 중 입자를 측정할 수 있는 계측기인 ISPM(In-Situ Particle Monitor)이 개발되어 널리 사용되고 있다[1].

ISPM은 펌프를 이용하여 공기를 흡입하지 않고, 입자가 중력이나 낮은 압력으로의 확산에 의해 이동하여 레이저 빔을 통과할 때 검출하는데, ISPM의 원리상 레이저 빔이 지나가는 좁은 측정 공간(sensing volume)에 입자를 모아 통과시키지 못한다. 따라서 이론적 측정 효율(detection efficiency)은 20% 이하로 매우 낮고 [2, 3], 특별한 경우를 제외하면 측정된 웨이퍼 오염도와 측정된 ISPM 데이터 간의 차이가 현저하여 제조장비의 오염제어에 효과적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다[1]. 최근 이러한 문제점의 원인을 밝혀내고 기존의 0.17  $\mu\text{m}$  이상의 입자크기에 대한 측정 기법에서 주로 이용되는 광학적 빛 산란 방식의 개선과 ISPM의 응용성을 높이기 위하여 진공 상태에서의 입자거동과 ISPM의 성능 특성에 대한 연구가 많이 수행되어지고 있다[2-5].

<sup>†</sup>E-mail : hjlim@office.hoseo.ac.kr

대부분의 입자가 계측기 내부의 측정공간(sensing volume)을 통과하기 위해서는 퍼짐이 적은 입자 빔(Particle beam)을 만들어야 한다. 최근 Liu 등[6, 7]은 오리피스(thin plate orifice)를 사용한 입자의 공기역학적 집중 효과(aerodynamic focusing effect)에 의해 입자 빔을 만드는 연구를 수행하였다. 오리피스를 통과하여 입자를 포함한 공기가 빠른 속도로 유동함에 따라 특정 크기의 입자는 관성에 의해 중심으로 모이게 된다. 즉, 입자의 관성을 지배하는 스톡스 수(Stokes number)를 사용하여 유동조건을 적절히 제어하면, 오리피스를 사용하여 에어로졸 빔을 만들 수 있다는 것이다. 이러한 방법으로 배귀남[8]은 오리피스를 활용한 공기 역학적 렌즈(ADFL, Aerodynamic Focusing Lens)를 ISPM의 앞쪽에 설치하고 여러 가지 조건에 따라 달라지는 입자 빔의 특성이 ISPM(PMS model Vaculaz-2)의 측정효율에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다.

ISPM은 일반적으로  $10^{-5}$ ~ $10$  torr 범위의 낮은 압력에서 사용되고 있는데[1], 이러한 저압상태에서는 균일한 입자분포를 얻기가 매우 어렵다[2, 4]. 이에 본 연구에서는  $10$  torr 이하의 낮은 압력에서 모든 입자가 ISPM의 측정 공간을 지나가도록 하기 위하여 Liu 등[7]이 개발한 공기 역학적 렌즈를 설계, 제작하고 이를 ISPM에 설치하여 이것으로부터 만든 작은 입자 빔을 가지고 ISPM의 성능 특성을 규명하려 한다.

본 연구에서는 공기역학적 렌즈를 이용하여 저압상태에서 ISPM(HYT model 70XE)의 성능 특성을 밝혀내는 실험을 수행하였다. 즉, ISPM에 공기 역학적 렌즈를 설치하여 성능평가 실험에 적합한 입자 빔을 생성하고, 크기를 제어할 수 있는 기술을 확보하기 위하여 단분산 PSL(polystyrene latex) 입자를 사용하여 저압상태에서 질량 유량(mass flow rate)에 따른 입자 농도, 입자 크기, 챔버내의 압력 등 기존에 보고된 실험 조건들을 적용 하여 ISPM의 측정효율(detection efficiency)을 실험적으로 조사하였다. 더 나아가 본 연구 센터의 측정 환경에 맞는 조건들을 결정하고 실제 반도체 제조장비 공정 챔버에 직접 적용하여 반도체 공정에 활용할 계획이다.

## 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 먼저 입자 분무기(atomizer)를 사용하여 입자를 발생 시킨 후 습기를 제거하기 위하여 건조기(diffusion dryer)를 통과시켰다[9].

이때, 분무기에 사용된 입자로는 보통 입자계수기의 성능 평가에서 시험용 입자로 많이 쓰이는 구형의 PSL(polystyrene latex) 입자이며, 직경이  $219$  nm 인 단분산 입자를 사용하였다. 이렇게 대기압 상태에서 만든 단분산 PSL 입자를 내경이  $3.5$  cm 인 스테인레스 스틸 관으로 만든 진공 챔버로 주입하였으며, 일정한 질량 유량을 진공 챔버로 공급하기 위하여 입구쪽에 유량계와 차압계를 사용하였다. 챔버는 진공펌프를 사용하여 감압시켰고, 챔버내 압력은 압력센서(HELIX model 375, CONVEC TRON)로 측정하면서 니들밸브를 사용하여 원하는 압력으로 맞추어 실험을 수행하였다. 또한, 공기역학적 렌즈와 ISPM(HYT model 70XE)을 설치하여 진공 챔버의 단면을 지나가는 입자 수를 측정하였다. 실험은 기존의 논문들에서 보고한 바에 따라 조건을 맞추었는데,  $219$  nm의 입자 크기에 최적인  $0.85$ ~ $20.0$  torr의 압력 조건과  $32$  sccm(standard  $\text{cm}^3/\text{min}$ )의 유입 유량을 사용하여 공기역학적 렌즈를 통과시킨 입자 빔을 생성하였다[10]. 이때, 최적 스톡스 수는  $1.0$ 으로 가정하였다. 입자 빔의 형성을 위해서는  $28$  cm의 진공 챔버를 지난 후 기본적으로 2개의 렌즈를  $8$  cm 간격을 두고 설치하였으며, 그 중 마지막 렌즈는 ISPM 과  $3$  cm 거리에 부착하여 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 공기역학적 렌즈의 크기와 갯수 조건에 따른 ISPM의 측정효율을 조사하였는데, 렌즈직경의 크기는  $3, 4, 6, 8$  mm로 변화시켰으며, 렌즈의 갯수는 장비의 설치 조건에 맞추어  $0, 1, 2, 3$  개까지 늘려 실험하였다. 이 때, 입자 농도는 원 시료의  $0.01, 0.02$  %의 두 가지로 변화시켜 사용하였다.

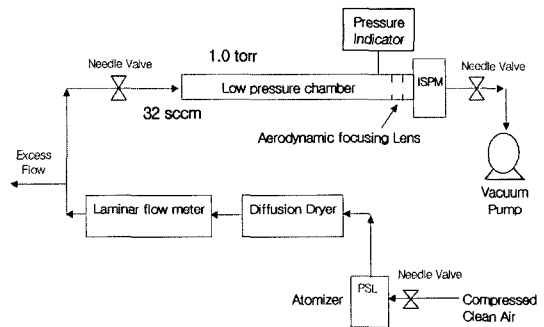


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 시간에 따른 ISPM의 측정 스펙트럼을 나타낸다. 이때 사용한 입자는 시료를  $0.02$  %로 희석시킨 농도를 사용하였으며, 챔버내의 압력은  $1.0$  torr로 일

정하게 유지하였고, 렌즈 크기는 6 mm 이고 개수는 2 개를 설치하여 입자 빔을 생성시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 스펙트럼은 장비의 측정 원리상 170, 250, 300, 500 nm, 1.0 μm 의 5가지 크기로 분류되어 나타나며, 170 nm 의 크기분포가 지배적으로 나타남을 알 수 있다.

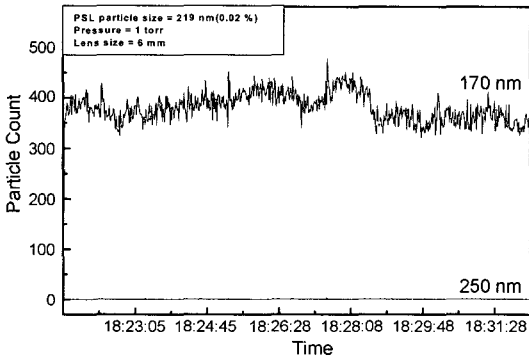


Fig. 2. The spectrum of the ISPM using PSL particles(0.02 %).

또한, 250 nm 와 그 이상의 입자 크기에 대해서는 매우 적은 수의 분포가 나타났다.

Fig. 3은 렌즈 직경의 크기를 변화시켰을 때 ISPM 에 측정된 입자수의 변화를 나타내고 있다. 170 nm 크기의 입자에 대한 스펙트럼의 변화를 정리하였으며, 이때의 렌즈 개수는 2 개를 설치하였다. 그림에서 보는 바와 같이 렌즈 크기가 6 mm 일 때 입자 계측수는 최대였으며, 나머지 렌즈 크기 일 때와 큰 폭의 차이를 보였다. 또한 각각의 렌즈 크기에 대하여 챔버의 압력 조건은 약간의 차이를 나타냈다.

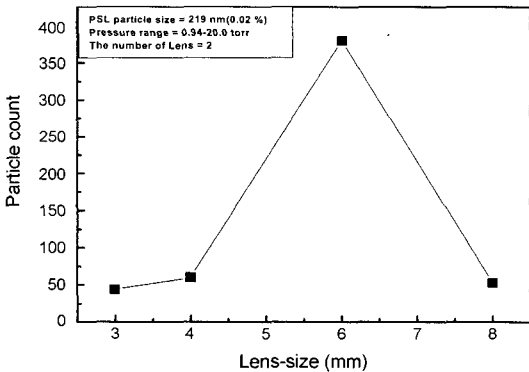


Fig. 3. Dependence of lens size for the ISPM.

Fig. 4 는 렌즈의 개수를 변화시켰을 때 ISPM 에 측정된 입자수의 변화를 나타내고 있다. 렌즈의 크기 변

화 실험에서와 마찬가지로 170 nm 크기의 입자에 대한 스펙트럼의 변화를 정리하였으며, 이 때의 렌즈 크기는 6 mm 를 사용하였다. 렌즈를 설치하지 않았을 때 보다 입자 계측수가 큰 폭으로 상승하였는데, 렌즈의 개수가 2 개에서 최대의 측정수를 나타내며, 그 이상의 개수에서는 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 또한 이때의 렌즈 개수에 따른 챔버의 압력 조건도 약간의 차이를 보였다. 이상의 결과들을 Table 1 에 정리하였는데, 주입 입자의 농도는 원 시료의 0.01 과 0.02 % 두 가지를 사용하였으며, 각각의 농도 변화에 대해서도 일정한 경향이 보여짐을 알 수 있다. 따라서, ISPM 장비가 공기 역학적 렌즈를 사용하여 입자 빔을 생성할 때 그 렌즈 크기와 개수 조건이 각각 6 mm와 2 개에서 최적임을 알 수 있었다.

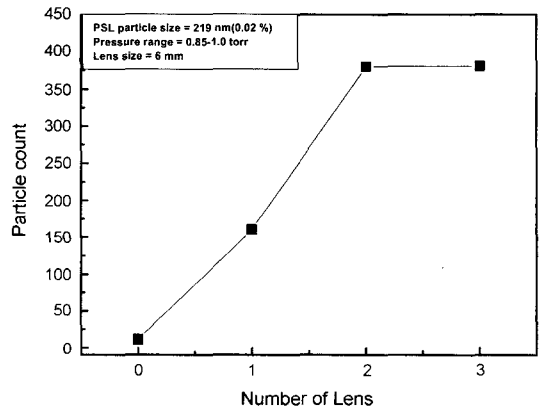


Fig. 4. Dependence of the number of lens for the ISPM.

Table 1(a). Dependence of lens-size.

Lens size (mm)	Particle count	
	0.01%	0.02%
3		44
4		60
6	189	380
8	28	53

Table 1(b). Dependence of the number of lens

The no. of lens	Particle count
0	11
1	160
2	380
3	381

## 4. 결 론

본 연구의 최종목표는 공정 챔버내의 입자들에 대한 종합적인 정보를 구하여 오염의 원인과 이를 최소화할 수 있는 방안을 제시하는 것이다. 본 논문에서는 이를 위하여 반도체 제조장비의 입자 오염을 측정하는데 많이 사용되고 있는 ISPM(HYT model 70XE)의 성능 특성을 실험적 기법으로 조사하였다. 저압 상태에서 공기역학적 렌즈(ADFL)를 설치하여 입자 빔을 생성시켰으며, 실험을 위한 챔버압력과 입자 유입 유량의 조건은 기존의 논문들에 보고된 바를 따라 최적 조건을 설정하였다. 200~500 nm 크기의 입자에 최적인 챔버압력과 유입 유량으로 각각 0.85~20.0 torr 와 32 sccm을 사용하였다. 위의 조건들을 가지고 우리는 공기역학적 렌즈의 크기와 갯수 변화에 따른 ISPM의 측정효율을 조사하였는데, 6 mm 크기의 렌즈를 2 개 설치한 조건에서 측정효율이 최대이고, 렌즈를 설치하지 않을 때와 비교해 볼 때 상당히 많은 계측수가 증가함을 알 수 있었다. 또한, 각각의 렌즈 크기에서 농도 변화에 대해서도 일정한 경향을 나타내었다.

따라서, 우리는 실험에 사용된 본 연구센터의 ISPM 장비가 200 nm 크기 근처에서 비교적 정확한 크기 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 아직 측정 효율에 대해서 파악할 수 있는 충분한 데이터를 얻지는 못하였다. 향후 본 연구에서는 본 연구센터의 ISPM 장비의 측정 환경에 맞는 렌즈 간격, 적정 압력, 적정 유량, 적정 입자 크기 등 조건들을 결정할 것이다. 또한, 이들 조건을 적용한 ISPM 을 가지고 실제 반도체 제조장비 공정 챔버에 직접 부착하여 반도체 공정에 활용할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 지역 협력 연구센터인 호서대학교 반도체제조장비국산화연구센터의 연구비 지원에 의해 연구수행 되었습니다.

## 참고문헌

1. Takahashi, K.M., and Daugherty J.E., "Current Capabilities and Limitations of In Situ Particle Monitors in Silicon Processing Equipment", *Journal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 14, pp. 2983-2993 (1996).
2. Kinney, P.D., Bae, G.N., Pui, D.Y.H., and Liu, B.Y.H., "Particle Behavior in Vacuum Systems: Implications for In-Situ Particle Monitoring in Semiconductor Processing Equipment", *Journal of the Institute of the Environmental Sciences*, Nov./Dec., pp. 40-45 (1996).
3. 배귀남, "감압상태에서 In-Situ Particle Monitor 의 성능 특성", 대한기계학회논문집 B, 제22권, 제11호, pp. 1564-1570 (1998).
4. Bae, G.N., Kinney, P.D., Liu, B.Y.H., and Pui, D.Y.H., "Investigation of Aerosol Spatial Distributions Downstream of a Critical Orifice at Low Pressure", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 28, No. 6, pp. 479-488 (1998).
5. 안진홍, 안강호, "임계 오리피스를 통과한 입자의 운동 특성에 관한 수치적 연구", 대한기계학회 '98년도 춘계학술대회논문집 B', pp. 681-686 (1998).
6. Liu, P., Ziemann, P.J., Kittekson, D.B., and McMurry P.H., "Generating Particle Beams of Controlled Dimensions and Divergence: I. Theory of Particle Motion in Aerodynamic Lenses and Nozzle Expansions", *Aerosol Science and Technology*, Vol.22, pp. 293-313, 1995.
7. Liu P., Ziemann P.J., Kittekson, D.B., and McMurry, P.H., "Generating Particle Beams of Controlled Dimensions and Divergence: II. Experimental Evaluation of Particle Motion in Aero-dynamic Lenses and Nozzle Expansions", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 22, pp. 314-324 (1995).
8. 배귀남, "저압상태에서 공기역학적 렌즈를 이용한 In-Situ Particle Monitor 의 성능특성 분석", 대한기계학회논문집 B, 제24권, 제10호, pp. 1359-1367 (2000).
9. 안강호, 배귀남, "새로 개발한 분무 입자 발생기의 성능평가", 대한기계학회 '94년도 춘계학술대회논문집 (II)', pp. 381-384 (1994).
10. 배귀남, "저압상태에서 공기역학적 렌즈를 이용한 입자 빔의 생성 및 크기 제어", 대한기계학회논문집 B, 제23권, 제10호, pp. 1320-1326 (1999).