

# 개선형 ISPM 의 성능 비교 연구

차옥환, 설용태, 임효재

호서대학교 반도체제조장비국산화연구센터

## 초 록

본 연구에서는 저압 상태인 반도체 제조장비의 입자오염을 측정하는데 많이 사용되고 있는 ISPM 의 성능 특성을 실험적 기법으로 조사하였다. 2 개의 공기역학적 렌즈를 사용하여 주입된 219.41 nm 크기의 PSL 실험 입자 빔을 생성시켰다. 또한 기존에 보고된 실험조건에 따라 chamber 압력, 유입유량을 각각 1 torr 와 32 sccm 으로 맞추었으며, 입자 농도를 두 가지로 변화시켜 실험하였다. 연구에 사용된 본 연구센터의 ISPM 장비는 250 nm 근처의 입자 크기에 대하여 비교적 정확한 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 앞으로 본 실험에서는 사용된 ISPM 장비의 측정 환경에 맞는 렌즈 수, 렌즈 간격, 적정 압력, 적정 입자 크기 등 조건들을 결정하여 실제 반도체 제조장비 공정 chamber 에 직접 부착하여 반도체 공정에 활용할 계획이다.

## 1. 서론

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 오염제어에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 수 년 전부터 반도체 제조장비 내 입자오염이 중요한 문제로 인식되고 있다. 특히 반도체 제조 공정은 대부분 진공상태에서 이루어지므로, 진공 chamber 내의 입자 측정 및 입자 발생 원인에 대한 연구가 매우 중요하다.

현재 반도체 제조공정 중의 입자오염을 모니터링 하는데는 입자의 광학적 빛 산란 방식을 이용하여 실시간으로 진공 중 입자를 측정할 수 있는 계측기인 ISPM(in-situ particle monitor) 이 개발되어 널리 사용되고 있다.[1]

ISPM 은 펌프를 이용하여 공기를 흡입하지 않고, 입자가 중력이나 낮은 압력으로의 확산에 의해 이동하여 레이저 빔을 통과할 때 검출하는데, ISPM 의 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 ISPM 의 응용성을 높이기 위하여 진공 상태에서 입자거동과 ISPM 의 성능특성에 대한 연구가 수행되고 있다.[2-5]

대부분의 입자가 계측기 내부의 측정공간(sensing volume)을 통과하기 위해서는 퍼짐이 적은 입자 빔(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 스토크스 수(Stokes number)를 사용하여 유동조건을 적절히 제어하면, 오리피스를 사용하여 에어로졸 빔을 만들 수 있다는 것이다. 그리하여 배귀남[8]은 오리피스를 활용한 공기 역학적 렌즈(aerodynamic 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 공기역학적 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 공기역학적 렌즈를 설치하여 성능평가 실험에 적합한 입자 빔을 생성하고, 크기를 제어할 수 있는 기술을 확보하기 위하여 단분산 PSL(polystyrene latex) 입자를 사용하여 저압상태에서 최적 질량 유량(mass flow rate)에 따른 입자 농도, 입자 빔의 크기, chamber 내의 압력 등 기존에 보고된 실험 조건들을 적용 하여 ISPM의 측정효율(detection efficiency)을 실험적으로 조사하였다. 더 나아가 본 연구센터의 측정 환경에 맞는 조건들을 결정하고 실제 반도체 제조장비 공정 chamber에 직접 적용하여 반도체 공정에 활용 할 계획이다.

## 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 입자로는 보통 입자계수기의 성능평가에서 시험용 입자로 많이 쓰이는 구형의 PSL(polystyrene latex) 입자(밀도= $1.05 \text{ g/cm}^3$ , 굴절계수= $1.59-0i$ )를 사용하였다. 굴절계수에서 나타난 바와 같이 PSL 입자는 광학적으로 빛을 투과 시키는 성질을 가지고 있다.

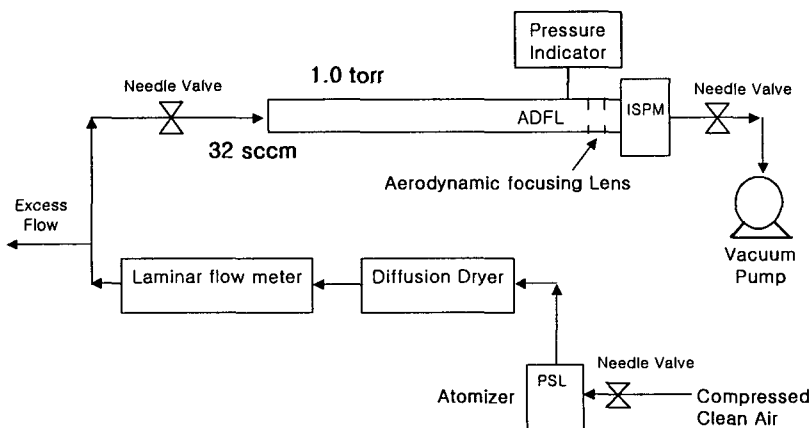


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental system

Fig. 1. 는 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다. 시험용 입자의 발생은 먼저 분무기(atomizer)를 사용하여 단분산 PSL 입자를 발생[9] 시킨 후 습기를 제거하기 위하여 건조기

(diffusion dryer)를 통과시켰다. 이때 분무기에는 직경이 219.41 nm 인 단분산 PSL 입자를 사용하였다. 이렇게 대기압 상태에서 만든 단분산 PSL 입자를 내경이 3 cm 인 스테인레스 스틸관으로 만든 진공 chamber 로 공급하였다. 일정한 질량유량(mass flow rate)을 진공 chamber 로 공급하기 위하여 입구쪽에 유량계와 차압계를 사용하였으며, chamber 는 진공펌프를 사용하여 감압시켰으며, chamber 내 압력을 압력센서(HELIX model 375 CONVECTRON)로 측정하면서 진공밸브를 사용하여 원하는 압력으로 맞추어 실험을 수행하였다.

또한, 본 실험에서는 28 cm 의 진공 chamber 를 지난 후에 2 개의 동일하지 않은(hole size= 6 mm, 8 mm) 공기역학적 렌즈 와 ISPM(HYT model 70XE)을 설치하여 진공 chamber 의 단면을 지나가는 입자 수를 측정하였다.

실험은 기존의 논문들에서 보고된 바에 따라 조건을 맞추었는데, 유입유량이 32 sccm 인 경우 300 nm 인 입자에 대한 ISPM 의 최적 작동범위는 0.8~1.2 torr 이고 압력이 1 torr 일때의 작동범위는 200~500 nm 라고 보고하고 있다.[10] 따라서, 본 실험에서는 유량(Q) 이 32 sccm (standard cm<sup>3</sup>/min) 일때 진공 chamber 내에서 입자 빔을 최적으로 만들 수 있는 압력조건 내에 포함되는 1 torr 에서 실험하였다. 이때, 최적 스톡스 수는 1.0 으로 가정하였다. 시험입자는 최적 압력조건에서 가장 측정도가 높은 입경(D<sub>p</sub>)인 100~500 nm 범위 내의 단분산 PSL 입자를 사용하였다. 이때 입자 농도는 원 시료의 0.2, 0.04 % 의 두 가지로 변화시켜 사용하였다. 입자 빔의 형성을 위해서는 기본적으로 2 개의 동일하지 않은 내경의 렌즈(6, 8 mm)를 8 cm 간격을 두고 설치 하였으며, 두 번째 렌즈는 ISPM 과 3 cm 거리를 두고 부착하여 실험을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2. 는 실험에 사용된 단분산 PSL 입자의 크기 분포를 나타낸 스펙트럼이다. PSL 입자를 입자 발생기에 담아서 사용하게 되는데, 219.41 nm 의 입자 크기를 중심으로 스펙트럼 분포를 보인다.

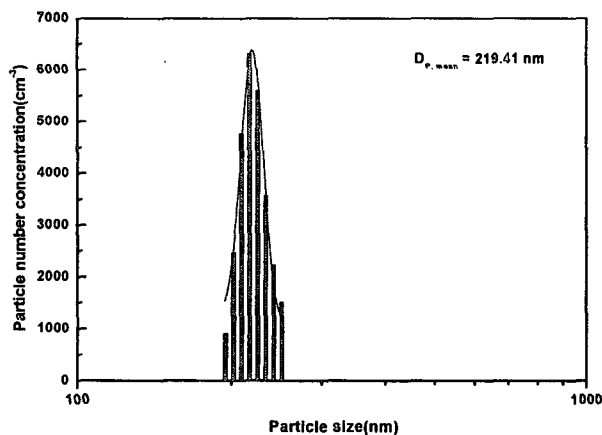


Fig. 2. The size spectrum of uniform sized PSL particles.

Fig. 3. 는 시간에 따른 ISPM 의 측정 스펙트럼을 나타낸다. 이때 사용한 입자는 Fig. 2. 의 시료를 0.2 % 로 희석시킨 농도를 사용하였으며, chamber 내의 압력은 1 torr 로 일정하게 유지하였다. 스펙트럼은 장비의 측정 원리상 170, 250, 300, 500 nm, 1.0 μm 의 5 가지 크기로

분류되어 나타내어 진다. 스펙트럼에서 보는 바와 같이 170 nm 와 250 nm 의 크기분포가 지배적으로 나타남을 알 수 있다. 또한, 300 nm 와 그 이상의 입자 크기에 대해서는 매우 적은 수의 분포가 나타났다.

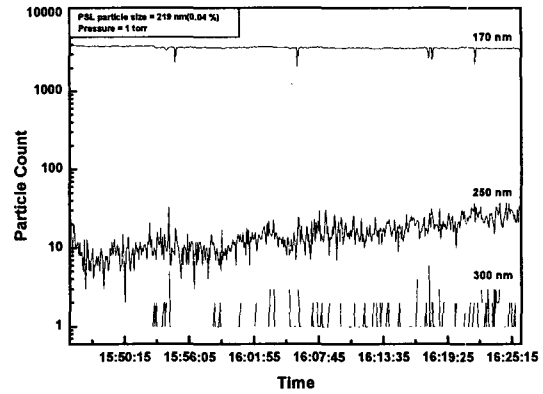
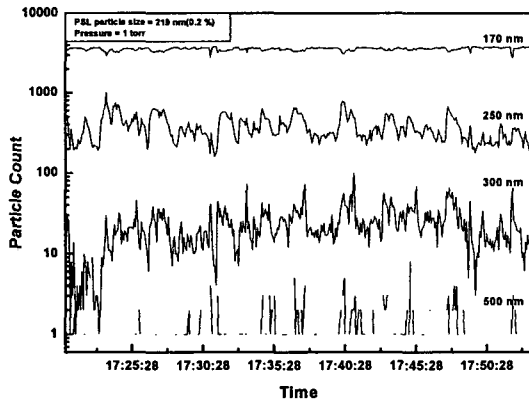


Fig. 3. The spectrum of the ISPM using PSL particles(0.2 %). Fig. 4. The spectrum of the ISPM using PSL particles(0.04 %).

Fig. 4. 는 같은 압력 조건에서 입자 농도를 다르게 하여 측정한 스펙트럼이다. Fig. 2. 의 시료를 0.04 % 로 희석한 입자 농도를 사용하였다. 스펙트럼에 나타난 바와 같이 250 nm 크기의 스펙트럼이 Fig. 3. 에서와 비교하여 2 % 로 감소하여 나타났으며, 300 nm 이상의 크기에 대해서는 그 분포가 거의 나타나지 않았다. Fig. 3. 과 Fig. 4. 를 비교해 보면 입자 농도가 250 nm 이상의 크기에 영향을 주었음을 알 수 있었고, 이로써 사용된 ISPM 장비가 PSL 입자의 크기인 250 nm 근처의 분포에 대하여 비교적 정확히 반응하고 있음을 알 수 있었다. 반면에 170 nm 크기의 입자 분포는 거의 변화가 없었는데, 이는 주입 사용된 PSL 입자 외에 다른 불순물 입자들이 chamber 내에서 더 많은 수의 분포를 이루고 있음을 나타내는 것이다. 여기서 우리는 170 nm 미만의 크기를 측정해 낼 수 없는 ISPM 의 한계를 감안할 때, compressed clean air 를 포함한 여러 가지 경로를 통하여 170 nm 크기 뿐만 아니라 그 미만 크기의 많은 불순물 입자가 chamber 내부로 유입되고 있음을 유추해 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 저압 상태에서 동일하지 않은 2 개의 공기역학적 렌즈를 사용하여 입자 빔을 생성시킨 후, 반도체 제조장비의 입자오염을 측정하는데 많이 사용되고 있는 ISPM(HYT model 70XE)의 성능특성을 실험적 기법으로 조사하였다.

실험을 위한 chamber 압력 과 입자 유입유량의 조건은 기존의 논문들에 보고된 바를 따라 최적 조건을 설정하였다. 200~500 nm 크기의 입자에 최적인 chamber 압력과 유입유량은 각각 1 torr 와 32 sccm 을 사용하였다.

위 조건의 실험을 통하여 우리는 본 연구센터의 ISPM 장비가 200 nm 크기 근처에서 제대로 된 크기 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 아직 측정효율에 대해서는 파악할 수 있는 충분한 데이터를 얻지 못하였다. 따라서, 향후 본 연구에서는 본 연구센터의 ISPM 측정환경에

맞는 렌즈 수, 렌즈 간격, 적정 압력, 적정 입자 크기 등 조건들을 기존의 보고를 바탕으로 결정할 것이다. 또한, 이들 조건을 적용한 ISPM 을 가지고 실제 반도체 제조장비 공정 chamber 에 직접 부착하여 반도체 공정에 활용할 계획이다.

## 후기

본 논문은 한국과학재단 지정 지역 협력 연구센터인 호서대학교 반도체제조장비 국산화 연구센터의 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, 제 11호, 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, "입계 오리피스를 통과한 입자의 운동 특성에 관한 수치적 연구" , 대한기계학회 ' 98년도 추계학술대회논문집 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 Aerodynamic Lenses and Nozzle Expansions" , Aerosol Science and Technology, Vol.22, pp. 314-324, 1995.
- [8] 배귀남, "감압상태에서 in-situ particle Monitor 의 성능 특성" , 대한기계학회논문집 B, 제24권, 제 10호, pp. 1359-1367, 2000.
- [9] 안강호, 배귀남, "새로 개발한 분무 입자 발생기의 성능평가" , 대한기계학회 '94년도 춘계학술대회 논문집(11)' , pp. 381-384, 1994.
- [10] 배귀남, "저압상태에서 공기역학적 렌즈를 이용한 입자 빔의 생성 및 크기 제어" , 대한기계학회논문 집 B, 제23권, 제10호, pp. 1320-1326, 1999.