

ISPM을 이용한 PECVD 공정 내 발생입자 측정 연구

김 동 빈^{1),2)} · 문 지 훈²⁾ · 김 형 우³⁾ · 강 병 수^{2),4)} · 윤 주 영²⁾ · 강 상 우^{2),4)*} · 김 태 성^{1),3)**}

¹⁾성균관대학교, 기계공학부, ²⁾한국표준과학연구원, 진공기술센터

³⁾성균관대학교, 나노과학기술협동학부, ⁴⁾과학기술연합대학원대학교 차세대소자공학과

(2015년 6월 18일 투고, 2015년 11월 30일 수정, 2015년 12월 27일 게재확정)

Measurement of Particles Generated from PECVD Process using ISPM

Dongbin Kim^{1),2)}, Jihun Mun²⁾, HyeongU Kim³⁾, Byung Soo Kang^{2),4)}, JuYoung Yun²⁾, SangWoo Kang^{2),4)*},
and Taesung Kim^{1),3)**}

¹⁾*Sungkyunkwan University of Mechanical Engineering, 2066 Seobu-ro, Suwon*

²⁾*Vacuum Technology Center, Korea Research Institute of Standards and Science, 267 Gajeong-ro, Daejeon*

³⁾*Sungkyunkwan Advanced Institute of Nano Technology, Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-ro, Suwon*

⁴⁾*Advanced Device Technology, University of Science & Technology, 305-350, Daejeon*

Abstract

Particles which generated from plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) during thin film deposition process can affect to the process yield. By using light extinction method, ISPM can measure particles in the large-diameter pipe (≤ 300 mm). In our research, in-situ particle monitor (ISPM) sensor was installed at the 300 mm diameter exhaust-line to count the particles in each size. In-house flange for mounting the transmitting and receiving parts of ISPM was carefully designed and installed at a certain point of exhaust line where no plasma light affect to the light extinction measurement. Measurement results of trend changes on particle count in each size can confirm that ISPM is suitable for real-time monitoring of vacuum process.

Keywords : ISPM, 광소멸, PECVD 공정, 오염입자 측정

* Corresponding author.

Tel : +82-42-868-5669, +82-31-299-4751

E-mail : *swkang@kriss.re.kr, **tkim@skku.edu

1. 서 론

스마트 기기로 일컬어지는 소형 다기능 전자기기의 시장 수요 증가로 인해 더욱 높은 해상도 및 밝기를 갖는 차세대 디스플레이 개발이 요구되고 있다. Liquid crystal display (LCD) 또는 organic light emitting diode (OLED) 등의 디스플레이 제조 공정 중 진공 내 박막 제조 공정에서 유입되는 오염입자는 핫픽셀 및 데드픽셀 등의 불량을 일으키는 요인이 되며(Nakashima, 1994), 수율 감소로 이어진다. 오염입자의 제어는 발생원이나 발생한 입자를 제거하는 방법이 있는데, 외부 유입 또는 기계적인 내부 발생 등의 입자 발생 원인 파악 및 효율적인 오염입자 제거방법을 얻기 위해서는 입자 특성분석이 필수적으로 요구된다.

반응기로 유입되거나 기계적으로 발생한 입자를 측정하는 기존 방법으로는 transmission electron microscopy (TEM)와 scanning electron microscopy (SEM) 등의 전자현미경을 이용한 비실시간 측정방법이 있다. 기존의 비 실시간 측정방법은 우선 증착 공정에서 실제로 쓰이는 유리나 웨이퍼 등의 샘플 기판 또는 해당 측정장치에 맞는 전용 그리드를 이용하여 반응기 내부나 배기라인에서 입자를 포집한 후 측정하는데(Takahashi and Daugherty, 1996), 이와 같은 비 실시간 측정방법은 오염입자의 크기, 성분 및 형상 등의 다양한 정보를 확인할 수 있다는 장점이 있어 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 방법은 입자의 공간 내 수 농도 측정이 어렵고 수율을 떨어뜨리는 치명적인 입자를 실시간으로 분석하여 제어하기가 용이하지 않으며 입자를 포집하기 위한 별도의 공정을 가동하는데 추가비용이 발생한다. 또 다른 문제로는 일부 입자의 경우 샘플 취급상의 변질, 산화로 인하여 측정결과가 달라지기도 한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 Ziemann et al. (1995)은 저압에서 입자의 수 농도 분포를 실시간으로 측정할 수 있는 particle beam mass spectrometer (PBMS)를 개발했으며, Seto et al. (1997), Seol et al. (2000), 및 Mun et al. (2011) 등의 연구진은 기존 differential mobility analyzer (DMA)를 개량한 저압용 DMA (Low pressure DMA, LPDMA)를 개발하였다. 개발된 장비는 각각 10^{-1} Torr 내지는 수십 Torr의 저진공 압력대에 존재하는 입자의 수

농도 분포를 측정하고 기존장비를 통해 검증하였지만, PBMS의 경우에는 협소한 반도체 펌 공간에 적용하기에는 장치가 크고 LPDMA의 경우는 실제 공정에 적용하기에는 작동 가능한 압력대가 상대적으로 높아 샘플링이 어려운 단점이 있었다.

In-situ particle monitor (ISPM)은 기존의 PBMS, DMA, 그리고 LPDMA가 가지는 단점을 광 소멸 및 광 산란 방식을 이용한 입자측정을 통해 극복한 장비이다. ISPM은 광 검출기를 통해 입사광의 강도 대비 산란되거나 일부 소멸된 빛을 측정하여 입자 크기 및 개수를 실시간으로 확인할 수 있으며 기존의 장비에는 필수적으로 장착되던 진공펌프 등을 이용한 진공도 확보나 외기유입을 할 필요가 없기에 챔버 배기관 측벽에 모듈로 장착하여 입자 측정을 할 수 있다. 또한 광 소멸방식을 이용 시 300 mm에 이르는 직경의 배관에도 적용하여 입자 측정이 가능한 장점을 갖고 있다. 이러한 장점으로 ISPM은 진공 내 입자 실시간 측정장치로 응용된 사례가 있다. 기존에 보고된 바에 따르면 PECVD 공정, ion implantation (Weisenberger et al., 1989; Leung et al., 1991) 및 sputtering 공정의 진단장치로서 ISPM을 사용하였으며 Miyashita et al. (1999)은 particle-per-wafer-pass (PWP)와 ISPM을 이용한 입자 측정간의 연관성을 보고한 바 있다. 이러한 결과는 ISPM이 웨이퍼 손상, 포토레지스트 잔여물 등의 비정상적인 공정현상을 측정하거나 최적화된 공정조건을 확인하는데 적절한 성능을 가지고 있음을 보여준다.

본 연구에서는 실제 LCD 박막 증착 PECVD 공정 내 발생입자를 입자 측정장치로 측정 및 입자 크기별 개수를 관찰하였으며, 사용된 입자 측정 장치는 High Yield Technology 사에서 제작된 ISPM 9020 모델이다. 측정장치가 설치된 실제 공정은 한 주기당 전체 20장의 유리기판에 박막을 증착하는 공정이며, 다른 주기와의 비교를 통해 공정 변화를 확인하였다.

2. 실험방법

ISPM은 대기압에서 진공영역까지의 넓은 압력대에서 최소 $0.2 \mu\text{m}$ 크기의 입자 측정이 가능하여 디스플레이 제조공정 발생 입자 측정 및 여러 분야에

사용되고 있다. ISPM의 측정방법은 주로 광 산란 방식이 이용되는데 1908년 Gustav Mie 는 입자 크기와 산란광 및 소멸광 강도간의 연관성을 이론으로 정립하였다. Mie 이론은 입사되는 빛이 특정 유량을 갖는 유관에 유입되는 입자와의 상호작용으로 산란광을 발생시키고, 발생한 산란광의 강도, 측정장치 응답시간 및 비 유량 측정을 통해 입자 크기와 각 크기별 개수를 확인할 수 있음을 의미한다. 측정된 입자의 개수는 유관의 기하학적 특성을 통해 수 농도로 변환할 수 있으며, 산란강도, σ'_{scat} 는 입사광 강도와 비평광된 입사광에 대한 미분 산란단면적을 통해 식으로 정의되는데 이는 다음과 같다(Hulst, 1981; Bohren and Huffman, 1983).

$$\sigma'_{scat} = \frac{\lambda^2}{8\pi^2} (i_1 + i_2) \text{ Eq.(1)}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{m_0} \text{ Eq. (2)}$$

λ 는 상대 산란광과장이고, λ_0 는 진공 내에서의 입사광 파장이며, m_0 는 주변 매질의 굴절률을 의미한다. i_1 및 i_2 는 강도 함수이며 다음과 같이 나타내어진다(Hahn, 2009).

$$i_1 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n \pi_n(\cos\theta) + b_n \tau_n(\cos\theta)] \right|^2 \text{ Eq. (3)}$$

$$i_2 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n \tau_n(\cos\theta) + b_n \pi_n(\cos\theta)] \right|^2 \text{ Eq. (4)}$$

θ 는 산란각도, $a_n \pi_n$ 과 $a_n \tau_n$ 은 Legendre 다항식의 각도에 대한 함수이고(Bohren and Huffman, 1983), a_n , b_n 은 Ricatti-Bessel 함수로 표현된 매개변수이다. 해당 변수는 다음 식과 같다(Hulst, 1981).

$$a_n = \frac{\Psi_n(\alpha)\Psi'_n(m\alpha) - m\Psi_n(m\alpha)\Psi'_n(\alpha)}{\xi_n(\alpha)\Psi'_n(m\alpha) - m\Psi_n(m\alpha)\xi'_n(\alpha)} \text{ Eq. (5)}$$

$$b_n = \frac{m\Psi_n(\alpha)\Psi'_n(m\alpha) - \Psi_n(m\alpha)\Psi'_n(\alpha)}{m\xi_n(\alpha)\Psi'_n(m\alpha) - \Psi_n(m\alpha)\xi'_n(\alpha)} \text{ Eq. (6)}$$

입자 크기변수 α 는 다음 식의 형태를 통해 입자 직경 d_p 와 연관되어 있다.

$$\alpha = \frac{\pi d_p}{\lambda} \text{ Eq. (7)}$$

측정에 사용된 상용 ISPM 장비인 HYT ISPM 9020 모델은 광 소멸방식을 기반으로 제작되었으며

장치의 발광부 및 수광부는 그림 1 과 같이 배기라인 단면상의 양 측면부에 장착되었다. 배기라인을 지나는 입자는 입사광과의 상호작용을 통해 빛을 흡수 또는 산란시키는데, 흡수 및 산란으로 인해 생기는 입사광 대비 광 강도의 손실을 광 소멸이라 한다. 광 산란 방식의 경우 입자에 의하여 산란되는 광 강도를 감도가 높은 photomultiplier tube (PMT)를 이용하여 측정하는 방식이기 때문에, 측정영역으로부터 검출부까지의 거리가 멀어지게 될수록 효율이 매우 떨어지게 된다. 하지만, 광 산란방식과 다르게, 광 소멸방식은 발광부와 수광부가 일직선 상에 놓이며 입사광에서 소멸된 강도를 측정하는 방식이기 때문에 넓은 직경을 갖는 배관에 적용 가능한 장점이 있다. 본 실험에서는 Mie 이론과 소멸광 측정값을 통해 입자 직경을 확인할 수 있었으며 측정공간을 지나는 입자의 개수 또한 측정 가능하였다. ISPM 9020에 장착된 광원은 405nm의 파장을 갖는 레이저 광을 방출하여 최소 0.2 μm 이상의 직경을 갖는 입자 측정이 가능하도록 설계 되었으며, 그림 1 과 같이 배관 연결부를 이용하여 배기관 사이에 장착 하였다. 측정은 Tetraethylorthosilicate (TEOS)와 O₂를 이용하여 SiO₂ 박막을 증착하기 위한 공정인 PECVD 공정에서 발생하는 플라즈마가 측정에 영향을 미치지 않는 위치를 선정하였다. 전체공정은 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 약 7분에 이르는 1회의 세정공정 및 20장의 유리기판을 각 1분간 증착하는 공정으로 이루어지며, 공정을 통해 발생하는 입자는 각 크기별로 ISPM을 통해 배기라인에서 개수를 측정하였다.

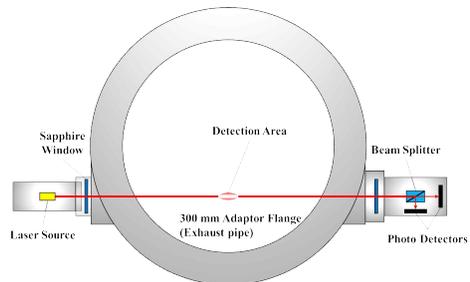


Figure 1. Schematic of ISPM and the adaptor flange.

3. 결과 및 고찰

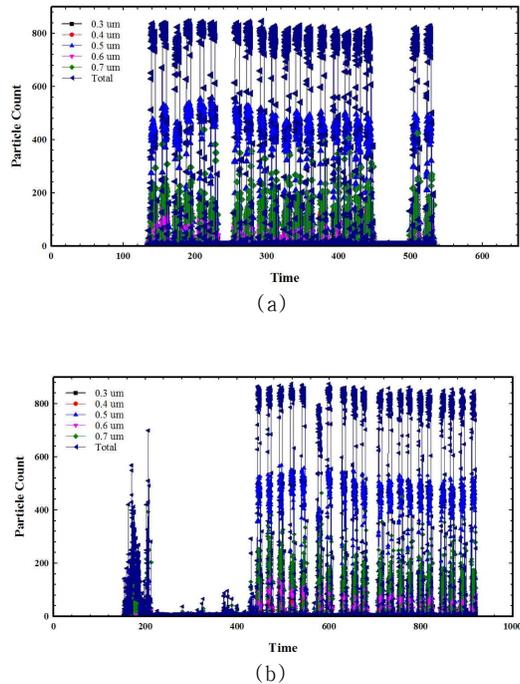


Figure 2. (a) Measurement result of deposition on 20EA glasses/cycle, (b) Full process includes with cleaning and 20 cycles. In 6th glass deposition process, total particle counts were decreased.

그림 2(a)에서 나타난 바와 같이 각각 20장의 유리기관 증착 공정에서 측정된 입자의 합계는 대체적으로 800개에 가까웠으나, 수 개에서 수십개의 적은 개수차이가 나타났다. 이러한 차이는 공정 챔버 대비 상대적으로 저압인 배기라인에서의 낮은 기체 밀도와 일반적인 진공 배기라인 대비 상대적으로 큰 사이즈 (직경 300 mm) 배관으로 인한 낮은 내부 유속으로 인해 관 내부에 침류유동이 발달하여 불균일한 입자 분포 유동을 가지는 상태에서, 광 소멸 방식 특성상 배관 전체의 평균적인 조건을 고려할 수 없고 배기라인 전체 공간의 약 2% 정도만이 측정영역이기 때문으로 추정된다 (Takahashi and Daugherty, 1996). 세정 공정은 그림 2(b)의 측정 시작 후 130초부터 나타나는 낮은 균일도의 측정결과

로 나타난다.

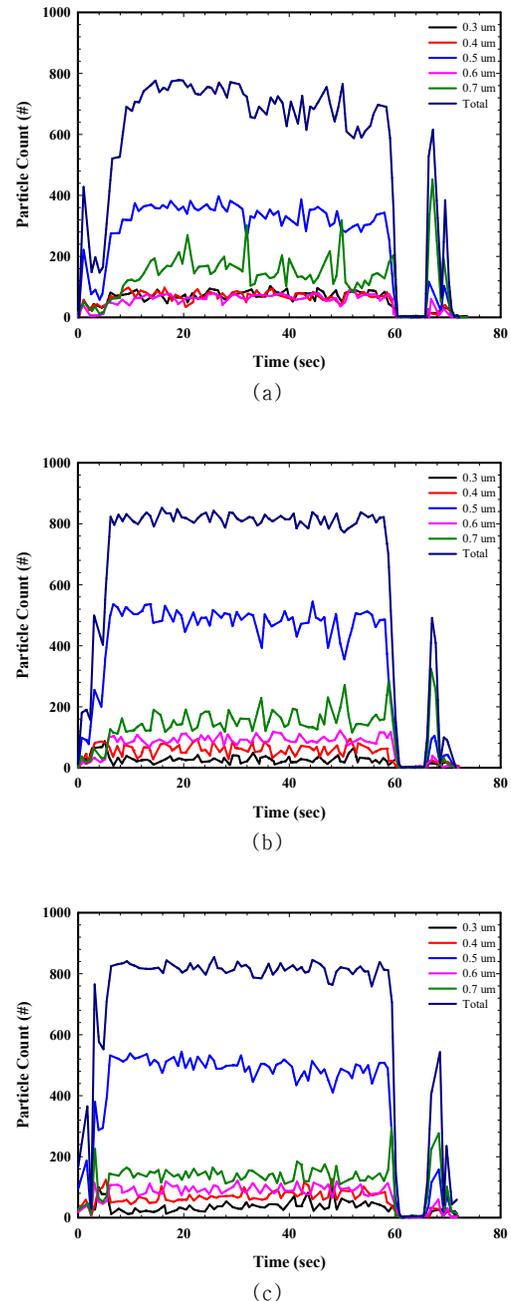


Figure 3(a). The patterns of 6th glass monitoring process, (b) patterns of 5th glass, (c) patterns of 7th glass.

그림 3(a)는 전체 20번의 유리기판 증착 공정 기준 800개의 측정치와 많은 차이를 보이는 6번째 기판 증착 공정에서 발생한 입자의 측정치를 나타낸 결과이며, 6번째 기판 전후의 5, 7번째 증착공정의 발생입자 개수를 나타낸 그림 3(b) 및 그림 3(c)와 비교해보면 0.5 μm 크기의 입자 개수가 줄어들 수 있다. 감소한 결과만큼 측정되지 않은 입자는 챔버 내벽이나 배기라인 전단 위치에 침강하거나 포집된 상태로 머무르며 이후 증착되는 기판의 오염 가능성을 높일 것으로 예상되었으며 5번째와 7번째 기판의 0.5 μm 크기 입자 평균개수를 비교한 그림 4의 결과에서 볼 때 그 양은 미소하지만 6번째 기판 증착공정 이후 증착된 7번째 기판 증착 공정에서 발생한 입자 개수가 5번째 공정보다 더 높음을 볼 수 있었다.

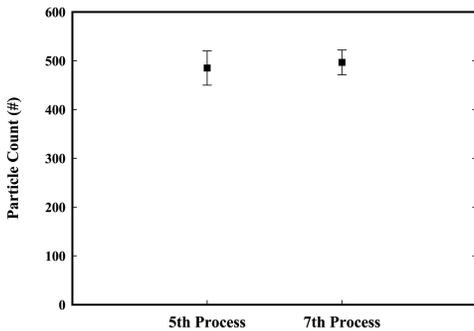


Figure 4. Average count changes of particle in 0.5 μm diameter at 5th and 7th process.

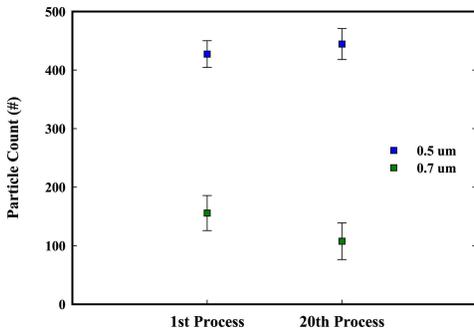


Figure 5. Average particle counts of 0.5 μm and 0.7 μm diameter particles in 1st and 20th glass.

세정 공정의 영향을 확인하기 위해 측정된 한 주 기 증착의 첫번째 및 20번째 유리기판의 측정결과 비교는 그림 5에 나타나 있다. 첫번째 공정에서 발생하는 입자의 측정 결과에서는 0.5 및 0.7 μm 크기의 입자 개수가 20번째 증착 공정에서의 측정치 대비 높음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 첫번째 유리기판 증착 전에 진행된 세정공정으로 인해 진공 챔버 내벽이 거칠어지고(Tanenbaum et al., 1997), 거칠어진 내벽에서 입자 발생 가능성이 높아지게 되며 연속되는 공정을 통해 점점 부산물 발생량이 줄어들기 때문으로 추정된다. 그림 6은 세정 공정 중 발생하는 입자를 측정된 결과이며 이전의 증착공정과 유사하게 0.5에서 0.7 μm 크기의 입자가 가장 많이 측정됨을 볼 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 세정공정에서 발생하는 입자가 20장의 유리기판 증착 공정에서 측정되는 입자 및 해당 공정에 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었다.

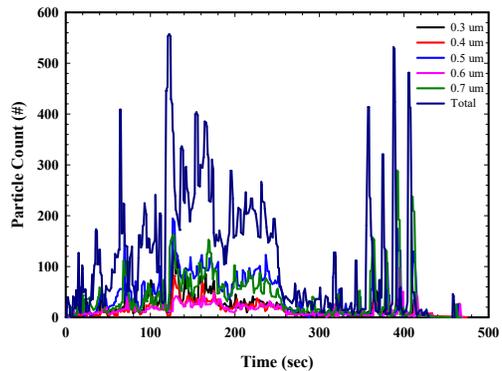


Figure 6. Particle counts in each size in the cleaning process.

4. 결론

본 연구는 실제 LCD 유리기판 상의 박막 증착공정에서 발생하는 입자를 측정할 수 있도록 300 mm의 PECVD 배관 및 상용 ISPM이 적용 가능한 플랜지를 제작하여 입자를 측정하였으며, 전체 20장의 증착 공정 및 세정공정에서 발생하여 배기라인에서 유입되는 입자 개수를 측정하였다. 증착공정에서 많은 차이를 보였던 0.5 및 0.7 μm 크기의 입자는 증

착공정 이전의 세정공정에서 발생되어 챔버 내에 머무르며 박막 표면에 영향을 줄 수 있음이 예상된다. 결과를 통해 ISPM은 실제 공정에서 발생하는 오염입자 또는 공정 조건에 의한 변화를 확인하기에 적합한 것을 확인하였다. 향후 추가적인 공정 측정을 통하여 실시간 측정장치 개발에 기여 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 미래창조과학부의 재원으로 신기술융합형성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014M3C1A8053636).

References

- Bohren, C. F., and Huffman, D. R. (1983). Absorption and scattering of light by small particles, New York: John Wiley and Sons.
- Hulst, H. C. (1981). Light scattering by small particles, New York: Dover Publications.
- Leung, S., Adibi, B., Moffatt, S., Fishkin, B., and Kinney, P. (1991). Real time, in situ particle monitoring of the Applied Materials PI9200 ion implanter, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect., B, 55, pp. 35-38.
- Miyashita, H., Kikuchi, T., Kawasaki, Y., Katakura, Y., and Ohsako, N. (1999). Particle measurement in vacuum tools by in situ particle monitor, J. Vac. Sci. Technol. A, 17, pp. 1066-1070.
- Mun, J. H., Cho, D. G., Kim, Y. J., Choi, J. B., Kang, S. W., Yun, J. Y., Shin, Y. H., and Kim, T. S. (2011). Development and calibration of differential mobility analyzer for 20 to 80 nm particles under low pressure conditions, J. Nanosci. Nanotechnol., 11, pp. 6275-6282.
- Nakashima, K. (1994). Hybrid Inspection System for LCD Color Filter Panels, Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC '94 May 10-12 Hamamatsu, IEEE, 689-692
- Seol, K., Tsututani, S. Y., Camata, R. P., Yabumoto, J., Isomura, S., Okada, Y., Okuyama, K., and Takeuchi, K. (2000). A differential mobility analyzer and a Faraday cup electrometer for operation at 200-930 Pa pressure, J. Aerosol Sci., 31, pp. 1389-1395.
- Seto, T., Nakamoto, T., Okuyama, K., Adachi, M., Kuga, Y., and Takeuchi, K. (1997). Size distribution measurement of nanometer-sized aerosol particles using DMA under low-pressure conditions, J. Aerosol Sci., 28, pp. 193-206.
- Takahashi, K. M., and Daugherty, J. E. (1996). Current Capabilities and Limitations of in situ Particle Monitors in Silicon Processing Equipment, J. Va. Sci. Technol., A, 14: pp. 2983-2993.
- Tanenbaum, D. M., Laracuate, A. L., and Gallagher Alan. (1997). Surface roughening during plasma-enhanced chemical-vapor deposition of hydrogenated amorphous silicon on crystal silicon substrates, Physical Review B., 56, 7, pp. 4243-4250.
- Weisenberger, W., Chereckdjan, S., Borden, P., and Knodle, W. (1989). Real-time, in-situ particle monitoring in a high current ion implantation production bay, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect., B, 37-38, pp. 644-648.
- Ziemann, P. J., Liu, P., Rao, N. P., Kittleson, D. B., and McMurry, P. H. (1995). Particle beam mass spectrometry of submicron particles charged to saturation in an electron beam, J. Aerosol Sci., 26, pp. 745-756.
- Hahn, D. W. (2009). Light scattering theory, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida.