

고진공에서 이온 카운터를 사용한 실시간 입자 모니터링 시스템의 개발

안강호(책임저자)* , 김용민** , 윤진욱** , 권용택**

*한양대학교 기계공학과, **㈜현대교정인증기술원

초록

In this paper, the new method which is monitoring quantity of particles using by ion-counter has been developed. ISPM system is composed by Gerdien type ion-counter (house-made), DC power supply and electrometer. Ion-counter applied positive voltage could detect only positive charged particles. Therefore charged particles to Boltzmann equilibrium distribution or to some identified charge distribution can be detected by ion-counter. Ion-counter could install on the exhaust line of process equipment since pressure loss is structurally low. ISPM system has been certified by comparison with the result of SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) system. The relation coefficient is above 0.98 about 20~300 nm particles with identified charge distribution under 0.1~10.0 Torr.

1. 서론

반도체 분야에서는 정밀, 집적화로 인하여 작업장 내의 불순물의 유무가 매우 중요한 사항이 되고 있다. 일반적으로 반도체 공정 중 발생하는 입자 및 불순물을 최소화 하기 위하여 진공기술 등을 사용하고 있으며, 보다 효율적인 생산을 위하여 공정내의 입자를 실시간으로 계측할 수 있는 시스템의 필요성이 대두되고 있다. Peter and Lawrence(1989)는 실시간 입자 모니터링을 위하여 레이저 산란 특성을 이용한 방법을 사용하였다. 진공 상태에서 레이저 측정 장치의 입자에 대한 측정 감도는 약 20 % 수준이었으며, 입자 크기가 작아질수록 측정감도가 감소하여 300 nm 이하의 입자는 측정할 수 없었다. 또한, 테스트 웨이퍼와 레이저 측정 장치와의 상관계수는 0.52 정도로 매우 낮은 정도였다. Kinney et al. (1996)은 공기 역학적 렌즈(aerodynamic lens)를 사용하여 레이저 센서의 측정 감도를 향상시킴으로써 ISPM 에 적용 가능성을 제안하였다. 하지만 공기역학적 렌즈의 구조상 큰 압력손실이 발생하며, 레이저 측정 장치의 특성 때문에 300 nm 이하의 입자는 측정 불가능한 단점이 남아있다. 본 연구에서는 ion-counter 를 이용하여 진공 중 입자의 농도 변화를 실시간으로 측정 할 수 있는 입자 모니터링 시스템을 구축하였다. 또한 ion-counter 를 이용한 ISPM system 과 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer) system 의 결과를 비교함으로써 개발된 ISPM system 의 타당성을 검증하였다. 또한, 반응노와 전구체를 이용하여 실리카 입자를 발생, 실제 반도체 공정과 유사한 수준의 입자농도 환경에서 ISPM system 의 성능을 평가하였으며, 동시에 soft x-ray 등을 활용하여 ISPM system 성능의 향상을 시도하였다

2. 실험 방법

Ion-counter 는 입자의 전기적 성질을 이용하여 입자의 경로를 바꾸고, Faraday cup 과 같이 입자가 갖고 있는 정전기적 특성을 이용하여 입자의 개수를 측정하는 장치이다. 그러나, ion-counter 는 Faraday-cup 과는 달리 전하를 갖고 있는 입자 중 한 극성의 입자만 측정하는 특징이 있다. 본 실험에서는 그림 1 과 같이 Gerdien 형태의 ion-counter 를 사용하였다. 두 개의 원형 판과 한 개의 원형 봉으로 구성되어 있으며, 원형 봉과 내부원통 사이로 에어로졸이 흐르게 되고 여기에 전기장을 인가함으로써 전하를 띤 입자를 포집하게 된다. 외부 원통과 내부 원통은 Teflon 으로 절연되어 있으며, 측정 전류계는 Keithly 사의 6517A 를 사용하였다. Ion-counter 는 그림 1(a)와 같이 내부원통에 전압을 인가시킴으로써, 내부원통에 인가된 극성과 다른 극성을 가진 입자들은 내부원통으로 향하고 같은 극성을 가진 입자들은 이온카운터 내주 중앙의 측정봉에서 미세전류계를 통하여 검출되는 방식이다. 이때 전원공급장치와 미세전류계의 접지를 측정봉과 일치시킴으로써 외부노이즈를 최소화 하였다. 본 연구에서 사용된 이온카운터의 측정특성은 그림 1(b)과 같다, 전극봉에 +40 V 를 인가하고, DMA(Differential Mobility Analyzer)에 의해 양으로 하전 된 60 nm 크기의 입자를 사용하여 실험을 수행하였다. 또한 동시에 soft x-ray 를 on/off 함으로써 이온에 대한 ISPM system 의 영향을 관찰하였으며, 이때 ISPM system 의 압력은 8 Torr 로 유지하였다. 그림에서 보는 바와 같이 하전 된 입자가 이온카운터에 유입됨에 전류가 검출됨을 알 수 있었다.. 본 연구에서 이온카운터를 이용한 ISPM system 의 성능평가는 그림 3 과 같이 수행하였으며, ion-counter 와 DC 전원 공급기 그리고 미세전류측정기를 결합한 ISPM system 을 구축하였다. 측정입자는 반응노를 사용하여 반도체 공정에서 주로 발생하는 SiO_2 입자를 전구체(TEOS, Tetraethyl-Orthosilicate)와 800°C의 반응로를 이용하여 발생시켰다. 이때 운반가스로는 질소가스를 사용하였다. 이때 생성된 입자의 농도를 조절하기 위하여 희석장치를 사용하였으며, 입자의 중화를 위해 soft x-ray charger 를 사용하였다. 대기압상태에서 SMPS system 으로 측정하였으며 동시에 진공상태에서 ISPM system 으로 측정하여 이를 비교하였다.

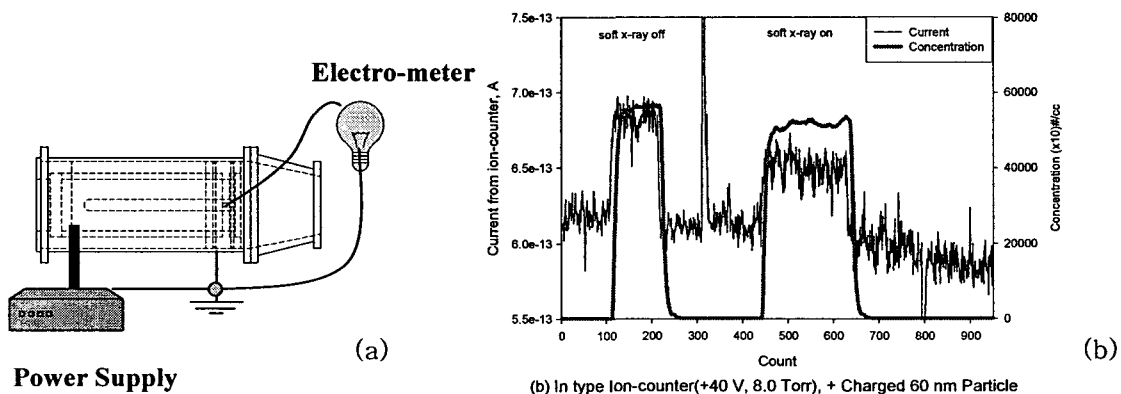


Fig. 1 (a) Ion Counter (b) Response Characteristic of Ion Counter

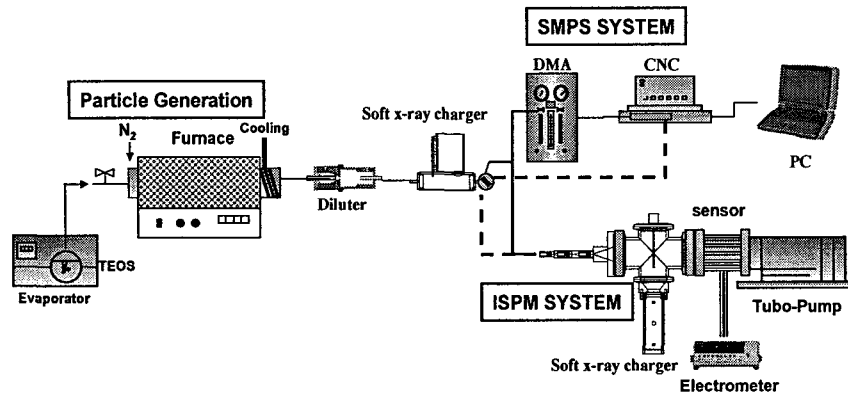


Fig. 2 Experimental Setup

3. 실험결과 및 고찰

대기압 상태의 입자를 고진공 상태인 ISPM System 으로 유입하기 위하여 다단 오리피스 형태의 pressure reducer(감압기)를 사용하였다. 감압기에서는 압력 차에 따른 급격한 팽창 때문에 입자의 손실이 발생하게 된다. 이 입자의 손실은 ISPM system 의 성능을 평가하는데 영향을 미치기 때문에 감압기에서의 transmission efficiency(전달효율)를 실험으로 구하였다. 특정 전압을 인가한 DMA 에서 나온 1 개의 하전을 지닌 입자를 대기압 상태에서는 CNC(Condensation Nuclei Counter; TSI-3022)로, 진공에서는 ion-counter 에서 측정함으로써 입자의 크기와 압력에 따른 전달효율을 구하였다. 그림 3 은 1.6 torr 에서 입자 크기에 대한 전달효율을 보여주고 있다. 크기가 큰 입자가 작은 입자보다 감압기에 의한 손실이 많음을 확인 할 수 있다. 반응로에서 생성된 입자를 soft x-ray charger 를 통과시켜 CNC 와 ISPM system 에서 동시에 입자 농도를 측정하였다. 그림 4 와 같이 입자의 농도가 변함에 따라 ISPM system 의 전류량도 같은 경향을 가지면서 변하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5 는 입자의 농도 변화에 따른 ISPM system 에서의 전류의 변화에 관한 상관 그래프이다. 상관계수는 0.98 이상으로 매우 좋은 상관성을 보여 주고 있다. 이 그래프에서 기울기는 ISPM 에서 측정되는 입자의 단위 농도가 갖고 있는 전하량이다.

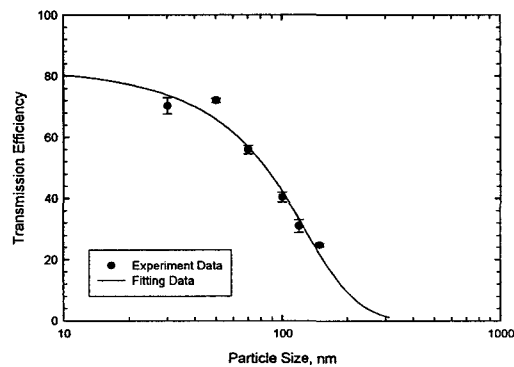


Fig. 3 Transmission efficiency of pressure reducer under 1.6 torr

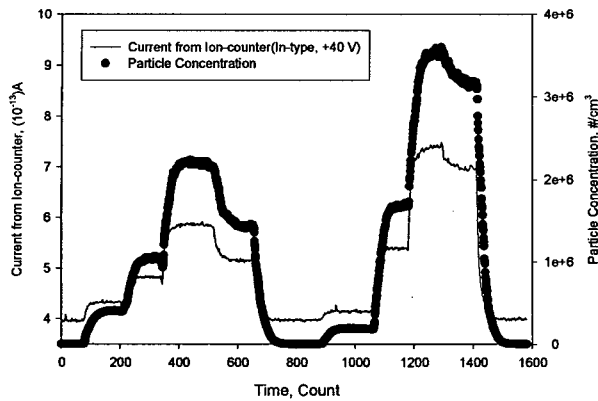


Fig. 4 The comparison between result of ISPM system under 1.6 Torr and counts of CPC3022 under 760 Torr.

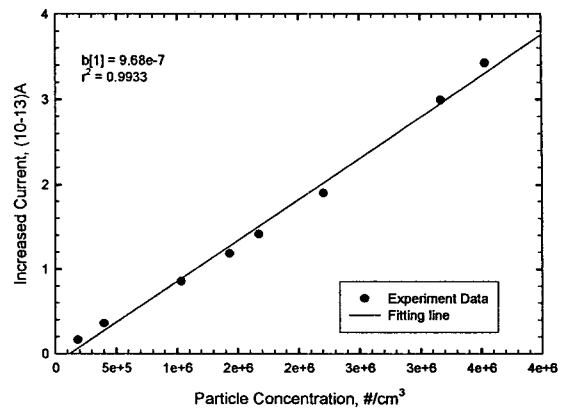


Fig. 5 The linearity between ISPM and CPC3022

4. 결론

본 연구에서는 진공 중 ion-counter를 사용하여 입자의 양을 측정하는 새로운 입자 모니터링 시스템을 구축하였다. SMPS system과 본 연구에서 개발한 ISPM system을 비교함으로써 타당성을 검증하였으며, 20 ~ 300 nm 의 입자를 0.1 ~ 8 torr의 조건에서 실험한 결과 일정한 하전분포를 지닌 입자의 경우, 상관도가 0.98 이상으로 좋은 결과를 보였다. 본 연구에서 개발한 실시간 입자 모니터링 시스템은 보다 좋은 반도체 생산 환경을 제공할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부 공동핵심개발사업의 일환으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] Kinney, P.D., Bae, G.N., Pui, D.Y.H., & Liu, B.Y.H., " Particle behavior in vacuum systems: Implications for in-situ particle monitoring in semiconductor processing equipment," Journal of the Institute of Environmental Sciences, 40-45., 1996.
- [2] Paul J. Ziemann, Peng Liu, Nagaraja P. Rao, David B. Kittelson and Peter H. McMurry., " Particle beam mass spectrometry of submicron particles charged to saturation in an electron beam," J. Aerosol Sci., Vol.26, No.5, pp.745-756., 1995..
- [3] Peter G. Borden et al., " Benefits of real-time, in-situ particle monitoring production medium current implantation," IEEE Transactions on semiconductor manufacturing. Vol.2, No.4., 1989.