

감압대기 및 불활성가스 분위기에서 적합한 정전기 제거장치의 개발

이동훈[†] · 정필훈^{*} · 이수환^{*} · 김상호^{*}

부경대학교 안전공학과 · ^{*}선재하이테크 기술연구소
(2016. 4. 6. 접수 / 2016. 6. 17. 수정 / 2016. 6. 20. 채택)

Development of the Most Optimized Ionizer for Reduction in the Atmospheric Pressure and Inert Gas Area

Dong Hoon Lee[†] · Phil Hoon Jeong^{*} · Su Hwan Lee^{*} · Sanghyo Kim^{*}

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

^{*}Research Center of Sunje Hitek Co.,LTD

(Received April 6, 2016 / Revised June 17, 2016 / Accepted June 20, 2016)

Abstract : In LCD Display or semiconductor manufacturing processes, the anti-static technology of glass substrates and wafers becomes one of the most difficult issues which influence the yield of the semiconductor manufacturing. In order to overcome the problems of wafer surface contamination various issues such as ionization in decompressed vacuum and inactive gas(i.e. N₂ gas, Ar gas, etc.) environment should be considered. Soft X ray radiation is adequate in air and O₂ gas at atmospheric pressure while UV radiation is effective in N₂ gas Ar gas and at reduced pressure. At this point of view, the “vacuum ultraviolet ray ionization” is one of the most suitable methods for static elimination. The vacuum ultraviolet can be categorized according to a short wavelength whose value is from 100 nm to 200 nm. this is also called as an Extreme Ultraviolet. Most of these vacuum ultraviolet is absorbed in various substances including the air in the atmosphere. It is absorbed substances become to transit or expose the electrons, then the ionization is initially activated. In this study, static eliminator based on the vacuum ultraviolet ray under the above mentioned environment was tested and the results show how the ionization performance based on vacuum ultraviolet ray can be optimized. These vacuum ultraviolet ray performs better in extreme atmosphere than an ordinary atmospheric environment. Neutralization capability, therefore, shows its maximum value at 10⁻¹~10⁻³ Torr pressure level, and than starts degrading as pressure is gradually reduced. Neutralization capability at this peak point is higher than that at reduced pressure about 10⁴ times on the atmospheric pressure and by about 10³ times on the inactive gas. The introductions of these technology make it possible to perfectly overcome problems caused by static electricity and to manufacture ULSI devices and LCD with high reliability.

Key Words : vacuum ultraviolet ray, soft X ray, inert gas, photon, static elimination, atmospheric pressure, reduced pressure

1. 서론

디스플레이(LCD) 및 반도체 제조공정에서 유리기판 및 웨이퍼에 대한 대전방지기술은 제조수율에 영향을 미치는 핵심기술 중 하나이다¹⁾.

반도체 웨이퍼의 경우 노즐로부터 분사된 가스에 의해 웨이퍼와 접촉할 때 수 kV로 대전된다. 이 때 정전기인력(Electrostatic Attraction)에 의해 주변의 먼지가 부착되는 오염으로 제조수율이 저하되거나, 정전기 방전(Electrostatic Discharge)으로 인해 패턴이 파괴되는 등 이에 대한 대책이 반드시 필요하다²⁻⁴⁾.

이러한 제조공정에서 정전기를 제거하는 방식으로는 코로나방전을 이용하는 방식과 연X선(Soft X-ray)을 이용하는 방법이 있다.

최근에는 디스플레이 및 반도체 제조공정 중에는 산화막 증착, CVD(Chemical vapour deposition), sputter 등의 진공증착설비 내에는 감압대기 및 불활성 가스(N₂, Ar등)를 사용하고 있다. 이러한 환경에서도 정전기를 제거하여야 하는 문제점이 대두되고 있다.

코로나 방전 및 연X선을 이용한 정전기제거장치는 위에서 언급한 감압대기 및 불활성가스의 환경에서는 정전기를 제거할 수 없는 단점이 있다⁵⁻⁷⁾.

[†] Corresponding Author : Dong Hoon Lee, Tel : +82-51-629-6466, E-mail : lhoon@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

앞으로 반도체의 집적도 증가 및 디스플레이 고해상도를 위해서 감압상태에서 산화막 증착, 주변의 먼지에 의해 웨이퍼 및 유리기관 표면을 오염시키는 문제를 해결하기 위하여 불활성가스로 취환하는 제조시스템을 도입하는 공정이 제시되고 있다. 이러한 환경에서 정전기로 인한 문제를 방지하는 기술은 반드시 선행되어야 한다.

본 연구에서는 감압대기 및 불활성가스 환경에서 정전기제거를 위하여 진공자외선(Vacuum Ultra Violet ray)을 이용한 정전기 제거장치를 개발하였다.

개발된 정전기제거장치를 이용하여 감압정도 및 불활성 가스의 종류에 따른 정전기제거 성능변화를 실험적으로 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

감압 및 불활성가스 분위기에서 정전기 제거성능을 실험하기 위하여 진공챔버 및 관련 주변기구를 설계하고 제작하였다.

2.1. 중수소 램프(Deuterium Lamp)

진공자외선을 발생하기 위하여 중수소 램프를 사용하였다. 중수소 램프는 석영관, 발광부, 리드선, 핀치부 등으로 구성되고, 아크방전(Arc Discharge)을 이용한 방전관으로 석영유리관 내에 중수소 가스(Deuterium gas, D₂)가 봉입되어 있고, 아크방전이 발생할 때 양극부분에서 100 nm ~ 200 nm의 연속 스펙트럼광(Continuous Spectrum Light)을 얻을 수 있다.

중수소 램프는 가열된 전자를 방출시키는 음극(Filament, Cathode), 금속양극(Target, Anode) 및 양극과 음극사이에 위치한 아크구멍(Arc Aperture)으로 구성된다. 수백 mA의 방전전류는 중수소 가스를 여기(Excitation)시켜 방전은 작은 아크구멍을 통해 통과한다. 이 때 발생된 광원은 빛을 방출하게 된다.



Fig. 1. VUV lamp housing.

Table 1. The specification of vacuum ultra violet ray lamp

Source	Vacuum ultraviolet ray lamp
Wave length	100 nm ~ 200 nm
Material of lamp	No Ozone quartz
Material of window	Complex quartz

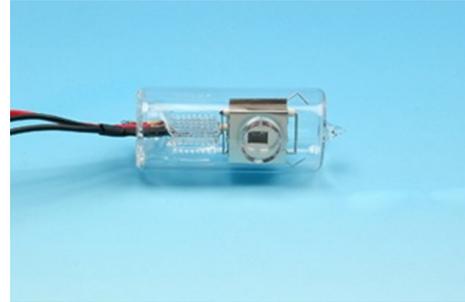


Fig. 2. Vacuum ultraviolet ray lamp.

한편 중수소 램프내부는 10³ ~ 10⁵ Torr 정도의 진공상태가 유지되어야 하며, 온도변화의 영향에 민감하여, 과열로 인하여 중수소 램프의 안정적인 출력 특성을 얻기 어렵다. 이로 인하여 정전기제거 성능을 얻을 수 없다. 따라서 이러한 환경으로부터 영향을 최소화하기 위해 방열을 위한 하우징을 설계하였다.

Fig. 1은 진공자외선 램프의 하우징을 나타낸 것이다. Table 1은 진공자외선 램프의 규격을 나타낸 것이고, Fig. 2는 진공자외선 램프를 나타낸 것이다.

2.2. 감압대기 및 불활성가스 환경조성 실험장치

진공챔버 내부에는 진공자외선을 이용한 정전기 제거장치 및 제전성능을 측정하기 위한 모의대전장치(Charged Plate Monitor)가 설치되어 있다. 10³ ~ 10⁴ Torr까지의 감압환경을 조성하기 위하여 진공펌프를 이용하였고, 불활성 가스(N₂, Ar)를 주입하기 위하여 펌프를 설치하였다.

Fig. 3은 감압 및 불활성가스 환경조성을 위한 챔버 및 주변 장치를 나타낸 사진이다.

디스플레이 및 반도체 공정 중에는 진공자외선을 대전물체에 직접적으로 조사하는 경우도 있고, 간접적으로 조사하는 경우도 있기 때문에 이를 위해서 Fig. 4와 같이 진공자외선을 직접조사한 방식과 Fig. 5와 같이 진공자외선을 간접조사한 방식으로 구분하여 실험하였다. 제전성능을 측정하기 위한 이격거리는 300 mm로 설정하였고, 실험의 정확성을 높이기 위하여 모든 실험은 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

국내 디스플레이 제조업체에서는 진공증착설비 내

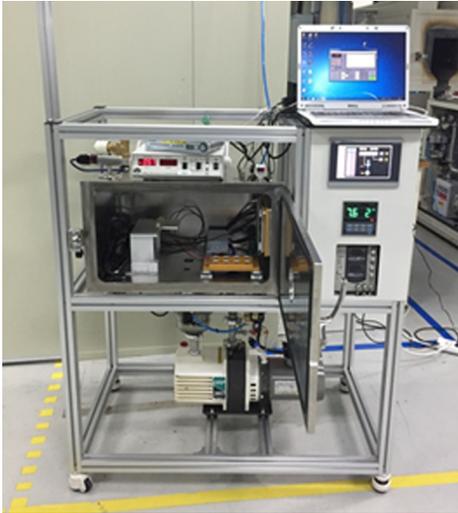


Fig. 3. The experimental chamber and interface.

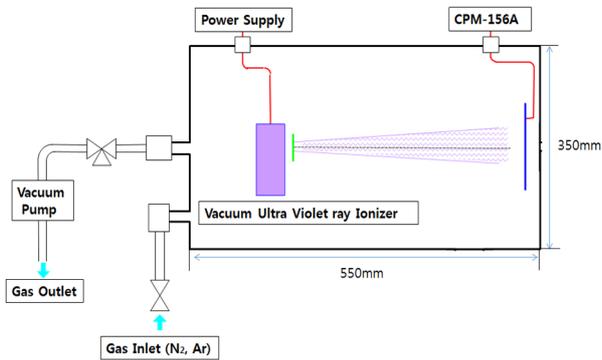


Fig. 4. Direct vacuum ultra violet ray irradiation.

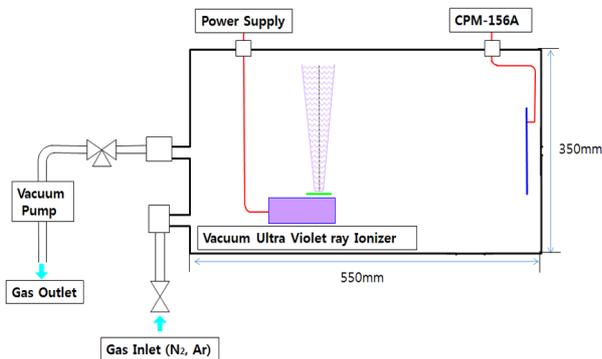


Fig. 5. Indirect vacuum ultra violet ray irradiation.

에서 제전완화시간은 공정속도(Tact time)를 고려하여 10^{-1} 초 이하의 제전목표시간을 설정하고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 2는 진공자외선 조사에 의한 정전기 제거성능을 측정하기 위하여 조건을 나타낸 것이다.

Table 2. Experimental conditions

Status	Condition
Irradiation method	Direct, indirect
Reduced pressure	10^3 Torr ~ 10^{-4} Torr
Environment	Air, N ₂ , Ar gas

3.1. 직접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar가스의 감압변화에 따른 제전완화시간

Fig. 6은 설정이격거리를 300 mm로 한 경우 직접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar가스의 감압변화에 따른 제전완화시간을 나타낸 것이다.

대기상태의 경우 10 Torr 이상에서는 제전완화시간이 수십 초대로 정전기제거능력이 제전목표에 미치지 못함을 알 수 있다. 반면 1 Torr에서는 제전완화시간이 0초대로 나타났다. 이는 전자와 분자의 평균자유행정(Mean free path)이 길어져서 전송속도가 빨라졌기 때문이다. 전송속도가 빨라짐에 따라 이온과 전자의 재결합(Recombination)과 확산(Deffusion)이 억제되었기 때문이다. 10^{-1} Torr ~ 10^3 Torr에서는 제전완화시간이 $10^{-1.5}$ ~ 10^{-2} 초로 제전목표시간 보다 우수한 제전성능을 나타냈다.

이는 평균자유행정이 더욱 길어짐에 따라 여기분자의 수명을 연장하여 2차광자흡수(Second photon absorption) 확률⁶⁾을 증가시켜 제전능력을 감압상태에서 크게 향상시켰기 때문이라 생각된다.

N₂ 및 Ar 가스의 경우 10^2 Torr 이상에서는 제전완화시간이 수초대로 나타났으며, 1 ~ 10 Torr에서는 제전완화시간이 0초로 나타났으며, 10^{-1} ~ 10^3 Torr에서 (+) 및 (-)측 모두 제전완화시간이 거의 10^2 초 정도로 제전완화시간이 빠름을 알 수 있다. 10^{-1} ~ 10^3 Torr의 감압환경에서는 대기상태보다 N₂, Ar 가스일 때가 정전기 제거성능이 약간 우수하였으나, 미미한 차이로 큰 의미는 없다고 생각한다. 대기, N₂, Ar 가스의 감압환경 중에서도 10^{-1} ~ 10^3 Torr에서 제전완화시간이 가장 빠르게 나타났음을 알 수 있다. 이는 진공자외선은 광자를 흡수하여 이온을 생성하는 것은 연X선 조사방식과 같으나, 연X선은 1개의 광자(photon)를 흡수하여 가스분자를 이온화 하는 반면, 진공자외선은 1개 이상의 광자(Multiphoton absorption)를 흡수하여야 가스분자를 이온화 할 수 있는 특이한 프로세스를 가지고 있기 때문이다. 즉, 광자의 에너지가 가스분자를 이온화시키기에 에너지가 낮기 때문이다.

따라서 10^{-1} ~ 10^3 Torr의 대기감압, N₂ 및 Ar 가스의 환경에서 정전기제거능력은 대기압의 환경에 비해서

Table 3. The comparison table of charge decay time in case of direct irradiation in decompressed Air, N₂ and Ar gas environment

Gas	≥10 ² Torr	10 ~ 1 Torr	10 ¹ ~10 ⁻³ Torr	0≥10 ⁻³ Torr
Air	100 sec	0 ~ 10 sec	10 ^{-1.5} ~10 ⁻² sec	≥10 ⁻¹ sec
N ₂	5 ~ 10 sec	0 sec	10 ⁻² sec	≥10 ⁻¹ sec
Ar	5 ~ 10 sec	0 sec	10 ⁻² sec	≥10 ⁻¹ sec

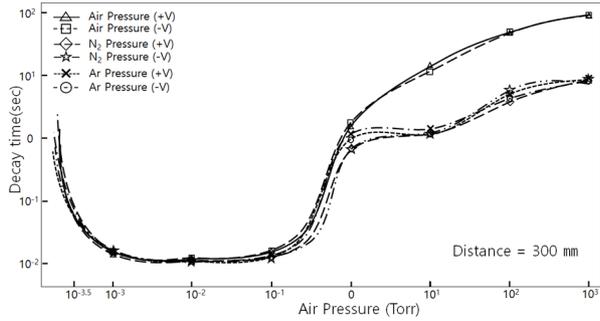


Fig. 6. The Charge decay time in case of direct irradiation in decompressed Air, N₂ and Ar gas environment.

10² ~ 10³ 정도로 성능이 좋아짐을 알 수 있다. 10³ Torr 이하의 감압상태에서는 제전시간이 10¹초 이상으로 상승함을 알 수 있다. 이는 가스분자가 희박하여 제전능력이 불가능하게 되기 때문이다.

Table 3은 직접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar 가스의 감압상태에서 가스 상태별, 감압정도별의 정전기제거 성능을 나타낸 것이다.

실험결과에서 알 수 있듯이 10¹ ~ 10³ Torr의 구간에서 최대의 제전능력을 보여주었다.

제전능력의 최대점은 감압대기의 경우 10⁴배, N₂ 및 Ar 가스의 경우에는 10³배 정도로 나타났다.

3.2. 간접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar가스의 감압변화에 따른 제전완화시간

Fig. 7은 설정이격거리를 300 mm로 한 경우 간접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar가스의 감압변화에 따른 제전완화시간을 나타낸 것이다.

대기상태의 경우 10 Torr 이상에서는 제전완화시간이 수 십초대로 직접조사방식의 경우와 같이 정전기제거능력이 제전목표에 미치지 못함을 알 수 있다. 1 Torr에서 제전완화시간은 5초대로 나타났으나, 10¹ Torr ~ 10³ Torr에서는 제전완화시간이 10² 초대로 제전목표 보다 제전성능이 빠르게 나타났다. 이는 직접조사방식의 경우와 같은 이유로 생각할 수 있다.

N₂ 및 Ar 가스의 경우 10 Torr 이상에서는 약간의

Table 4. The comparison table of charge decay time in case of indirect irradiation in decompressed Air, N₂ and Ar gas environment

Gas	≥10 ² Torr	10 ~ 1 Torr	10 ¹ ~10 ⁻³ Torr	0≥10 ⁻³ Torr
Air	100 sec	5 ~ 30 sec	10 ¹ ~10 ⁻³ Torr	≥10 ⁻¹ sec
N ₂	10 ~ 20 sec	0 ~ 5 sec	10 ⁻² sec	≥10 ⁻¹ sec
Ar	5 ~ 10 sec	0 sec	10 ⁻² sec	≥10 ⁻¹ sec

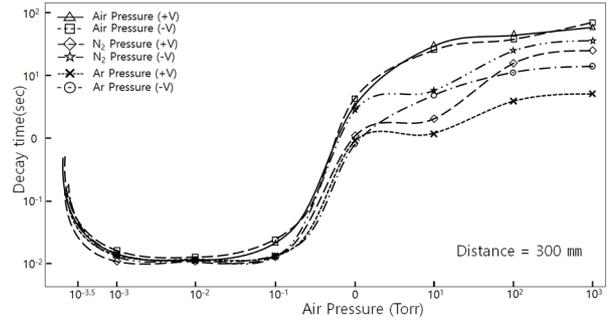


Fig. 7. The charge decay time in case of indirect irradiation in decompressed Air, N₂ and Ar gas environment.

산포는 있으나 수 ~ 수십 초대로 정전기제거성능이 저하하였다. 1 Torr에서는 제전완화시간이 0초로 나타났다. 10¹ Torr ~ 10³ Torr에서는 제전완화시간이 10² 초대로 제전목표 보다 빠른 제전완화시간을 나타냈다.

10¹ Torr ~ 10³ Torr에서는 대기, N₂ 및 Ar 가스 모두 정전기제거성능이 우수하였다. 10³ Torr 이상에서는 제전완화시간이 상승하였다. 직접조사이든 간접조사이든 이온과 전자는 대전체 주위에서 생성되는데, 간접조사의 경우 (+)(-)의 제전완화시간의 차이는 전자와 (+)이온의 이동도(Mobility)에 기인한 것으로 생각된다. 따라서 직접조사와 간접조사의 경우 제전능력은 거의 유사하다고 생각된다.

Table 4는 간접조사방식에서 대기, N₂ 및 Ar 가스의 감압상태에서 가스 상태별, 감압정도별의 정전기제거 성능을 나타낸 것이다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구를 통해서 진공자외선을 이용한 정전기 제거장치로 감압대기 및 불활성 가스(N₂, Ar) 환경에서의 정전기제전성능을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 감압에서는 연X선조사식 정전기제거장치를 사용할 수 없다. 이는 감압의 상태가 되면 광자를 흡수하는

가스분자 또는 원자의 양이 극히 적어 이온생성이 극히 감소하여 정전기제거능력이 현저히 저하한다.

2) 진공자외선을 이용한 정전기제거장치는 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ Torr의 감압대기, N_2 및 Ar 가스 환경에서 최대의 정전기제거능력을 보여주었다. 제거능력의 최대점은 대기압에 비하여 감압대기의 경우는 10^4 배, N_2 및 Ar 가스의 경우에는 10^3 배 정도로 나타났다. 따라서 감압 환경에서는 진공자외선조사식 정전기제거장치가 가장 적합함을 알 수 있었다.

3) 진공자외선을 대전물체에 10^1 Torr 이상에서는 직접조사방식이 간접조사방식에 비해 우수하나, 10^0 Torr 이하에서는 유사한 성능을 나타냈다.

따라서 본 연구를 통하여 진공자외선을 이용한 정전기제거장치는 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ Torr의 감압대기, 감압질소 및 감압아르곤 가스 환경에서 정전기 제거능력인 제전완화시간이 10^2 초로 최대의 능력을 나타냈음을 알 수 있었다.

감사의 글 : 이 논문은 부경대학교의 자율창의기술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음 This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2015 year)

References

- 1) D. H. Lee, D. S. Choi, Y. C. Jung and S. M. Kim, "A Study on Improvement of the Performance of Pulsed AC Ion Bar(1)", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.29, No.3, pp. 34-38, 2014.
- 2) D. H. Lee, D. S. Choi, S. M. Kim and Y. C. Jung, "A Study on Improvement of the Performance of Pulsed AC Ion Bar(2)", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.29, No.6, pp. 40-45, 2014.
- 3) Ministry of Commerce Industry and Energy, Korean Agency for Technology and Standards, "The Standard Study for Ionizer Evaluation Method", pp.224-236, 2005.
- 4) T.Namura, H.Okada, Y.Naitoh, Y.Todokora and M.Inoue, "Charged Build Up in Magnetized Process Plasma", Japan Journal Applied Physics, Vol. 30, pp.1576-1580, 1991.
- 5) T.Ohmi and T.Shibata, "Closed Manufacturing System for Advanced Semiconductor Manufacturing", Automated Integrated Circuits Manufacturing, PV.91-5, pp.3-64, 1991.
- 6) H. Inaba, T. Ohmi, T. Yoshida and T. Okada, "Neutralization of Static Electricity by Soft X-rays & Vacuum UV Radiation", Journal of Electrostatics, Vol.33, pp.15-42, 1994.
- 7) S. Sakata, H. Inaba, T. Yoshida and T. Okada, "Contamination Free Ionizer for Static Control in Super Clean Room", Proc. 3rd Int. Aerosol Conference, pp.817-820, 1990.