

레이저 세정기술을 이용한 웨이퍼의 표면세정

이명화*[†] · 백지영* · 송재동* · 김상범* · 김경수*

Surface Cleaning of a Wafer Contaminated by Fingerprint Using a Laser Cleaning Technology

Myong-Hwa Lee, Ji Young Baek, Jae Dong Song, ang Bum Kim and Gyung Soo Kim

Key Words: Laser cleaning(레이저세정), Cleaning mechanism(세정메카니즘), Wafer(웨이퍼), Excimer laser(엑시머 레이저), Fingerprint(지문)

Abstract

There is a growing interest to develop a new cleaning technology to overcome the disadvantages of wet cleaning technologies such as environmental pollution and the cleaning difficulty of contaminants on integrated circuits. Laser cleaning is a potential technology to remove various pollutants on a wafer surface. However, there is no fundamental data about cleaning efficiencies and cleaning mechanisms of contaminants on a wafer surface using a laser cleaning technology. Therefore, the cleaning characteristics of a wafer surface using an excimer laser were investigated in this study. Fingerprint consisting of inorganic and organic materials was chosen as a representative of pollutants and the effectiveness of a laser irradiation on a wafer cleaning has been investigated qualitatively and quantitatively. The results have shown that cleaning degree is proportional to the laser irradiation time and repetition rate, and quantitative analysis conducted by an image processing method also have shown the same trend. Furthermore, the cleaning efficiency of a wafer contaminated by fingerprint strongly depended on a photothermal cleaning mechanism and the species were removed in order of hydrophilic and hydrophobic contaminants by laser irradiation.

1. 서 론

우리나라의 반도체와 디스플레이 산업은 세계시장을 선도하는 업종으로서 이들 제조공정 중에서 세정공정이 전 공정의 10~20%를 차지하고 있다⁽¹⁾. 세정공정에는 습식세정공정과 건식세정공정이 주로 사용되고 있지만, 국제환경규제와 고집적화에 따른 회로의 미세화로 기존의 습식세정기술로는 효율적인 세정이 어려우므로 건식 세정기술이 점차 부각되어지고 있다⁽²⁾.

건식세정기술로는 레이저 세정기술, 초임계 CO₂ 세정

기술, 플라즈마 세정기술, UV-O₃ 세정기술이 있는데, 소재의 손상없이 효율적으로 세정을 할 수 있을 뿐만 아니라 2차 오염물질을 생성시키지 않는다는 측면에서 레이저 세정기술이 각광을 받고 있다. 레이저 세정기술에 대한 연구는 몇몇 연구자들에 의하여 이루어졌으나⁽³⁻⁵⁾, 대부분 정성적인 평가에 지나지 않고 있으며, 레이저 세정기술에 대한 정량적인 자료는 각 기업이 그들만의 노하우로서 가지고 있을 뿐, 그 세정효율이나 세정메카니즘에 대하여는 아직까지 잘 알려져 있지 않은 실정이다. 그러므로 레이저 세정기술을 이용하여 오염물질을 세정하였을 때, 그 세정효율과 세정메카니즘을 명확히 하는 것이 무엇보다 우선시되어야 한다.

산업체의 각 세정공정에서 문제가 되는 오염물질은 크게 유기오염물질과 무기오염물질로 나눌 수 있다. 여러 가지 오염물질 중에서 인체의 지문은 유기(C, O) 및 무기

(2007년 10월 10일 접수 ~ 2007년 11월 27일 심사완료)

*한국생산기술연구원 환경에너지본부

[†]이명화, 회원, 한국생산기술연구원 환경에너지본부

E-mail : myonghwa@kitech.re.kr

TEL : (041)589-8268 FAX : (041)589-8580

오염물질(K, Na, Cl, Ca)을 모두 함유하고 있는 것으로 알려져 있다⁶⁾. 본 연구에서는 유, 무기오염물질을 동시에 고려하기 위하여 세정대상물질로서 지문을 선정하여 레이저 세정에 의한 그 세정특성을 파악하고자 하였다. 특히 각 세정조건별 웨이퍼 표면의 지문에 대한 세정효율의 정량적 평가가 이루어졌으며, 웨이퍼 표면의 온도를 제어함으로써 세정메카니즘을 이해하고자 노력하였다.

2. 실험방법

Figure 1에는 레이저 세정실험을 수행하기 위하여 본 연구에서 사용한 실험장치도를 나타내었다. 세정대상 샘플로는 실리콘 웨이퍼를 선정하였으며, 웨이퍼 표면에 부착된 지문을 세정하기 위하여 248 nm의 파장을 가진 KrF Excimer Laser(COMPex 205, Lambda Physik, Inc.)를 사용하였다. 사용한 엑시머 레이저(Excimer Laser)는 최대 650 mJ의 펄스에너지를 가지고 있으며, 생성된 레이저는 24 mm×10 mm의 빔 사이즈로 조사를 하게 된다. Fig. 2에는 엑시머 레이저에서 발생된 레이저의 에너지밀도를 인가전압의 함수로서 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 반복속도(Repetition rate)가 10 Hz 이상에서는 동일 인가전압에서 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 즉, 레이저가 안정하게 발생되고 있다는 것을 간접적으로 확인할 수 있다. 또한 인가전압이 높아짐에 따라 레이저의 에너지밀도가 높아지며, 25 kV의 인가전압에서 약 55 mJ/cm²의 값을 가짐을 알 수 있다. 세정실험을 수행할 때에는, 직경 10 cm의 웨이퍼 표면에 초기 지문의 오염도를 동일하게 하기 위해서 한 사람을 실험

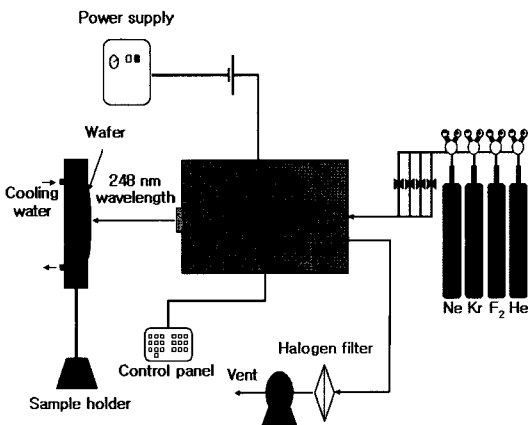


Fig. 1 Schematic diagram of a laser cleaning system

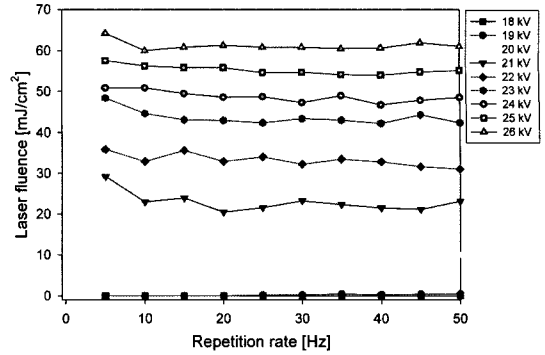


Fig. 2 The fluence of laser generated from the excimer laser as a function of discharge voltage

대상으로 선정하였다. 또한 세정이 이루어지기까지의 대기시간과 온도, 습도와 같은 환경요인도 동일하게 하여 지문의 초기상태를 유지하였다. 세정효율 측정을 위한 분석영역을 선택할 때에는 지문의 중심부분을 기준으로 최대한으로 동일한 부분을 선정하여 측정에 의한 편차를 최소화하고자 하였다. 세정 시에는 샘플을 엑시머 레이저로부터 1 m 떨어진 거리에 위치시키고, 조사되는 레이저의 반복속도를 변화시켜 가며 세정실험을 수행하였다. 광학현미경으로 관찰한 세정 전, 후의 지문 사진을 픽셀단위로 분석하는 화상처리(Image Processing) 프로그램(Photoshop program + Image J program)을 이용해 세정효율을 계산하였다.

광열적 세정메카니즘(Photo-thermal cleaning mechanism)의 효과를 알아보기 위하여 웨이퍼를 고정하는 샘플지대에 내부로 냉각수를 흘려 웨이퍼 표면의 온도를 제어할 수 있도록 하였다.

또한 세정시간 경과에 따른 웨이퍼의 세정특성을 평가하기 위해 접촉각 측정시스템(Contact angle measuring system)을 이용하여 접촉각을 측정하였다. 웨이퍼 표면에 물방울 2 ml를 떨어뜨려 표면에 형성되는 접촉각을 측정함으로써 세정상태를 파악하였다.

3. 실험결과

3.1 세정특성파악

Figure 2에서 인가전압이 25 kV이고, 반복속도가 30, 35, 40, 45 Hz에서의 조건(레이저 에너지밀도 : 55 mJ/cm²)에서 세정시간을 0~30분까지 변화시키면서 세정한 후, 광학현미경을 통해 지문의 동일부분을 관찰한 웨이

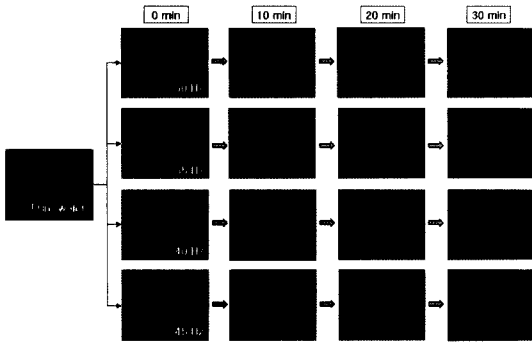


Fig. 3 Microscope images of a wafer surface after laser cleaning

피 표면분석 이미지를 Fig. 3에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 세정시간이 증가함에 따라 세정이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있으며, 반복 속도가 빨라짐에 따라 세정에 필요한 시간이 짧아진다는 것을 알 수 있다. 또한 레이저 조사로 인해 지문상의 미세한 입자들이 서로 응집되었다가 세정이 되는 현상을 확인할 수 있다.

이와 더불어 하나의 세정대상 샘플에 대하여 일정시간 동안 연속적으로 세정을 하였을 때와 동일한 시간이지만 간헐적으로 세정을 하였을 때를 비교, 평가하였다. 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)의 연속세정시에는 각 세정시간별(5, 10, 15분)로 한개씩 총 3개의 샘플을 사용하였으며, 이 경우에는 세정이 완료될 때까지 웨이퍼에서의 표면온도가 지속적으로 상승하게 된다. 반면, 간헐적 세정의 경우에는 1개의 샘플만을 사용함에 따라, 5분세정이 완료되면 온도가 상온으로 떨어졌다가 다음 세정시에 다시 상승하게 된다. 실험결과로부터 연속세정시 세정효율이 높은 것으로 보아 온도상승

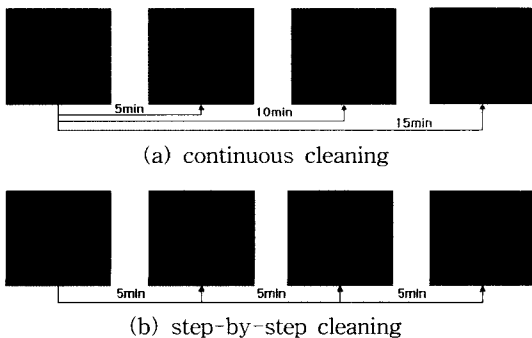


Fig. 4 Effect of cleaning continuity on cleaning efficiency

에 의한 효과가 세정에 커다란 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

3.2 세정효율계산

엑시머 레이저를 이용하여 세정을 하였을 때, 세정 효율의 정량적 평가를 위해서 화상처리기술을 이용하였다. 본 화상처리에는 공용소프트웨어인 Photoshop 프로그램과 미국의 정부기관인 NIH에서 공급하는 Image J 프로그램을 사용하였다. 광학현미경으로 찍은 지문 사진을 Photoshop 프로그램을 이용해 흑백사진으로 변환시킨 후, Image J 프로그램으로 지문이 존재하는 부분만의 면적을 픽셀정보로부터 얻게 된다⁽⁶⁾. Fig. 3에 나타낸 각 세정조건별 현미경사진을 화상처리하여 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 웨이퍼 표면에 존재하는 지문부분을 형상화하여 위의 픽셀정보로부터 지문의 전체면적을 계산하게 된다. 이렇게 하여 계산된 세정 전, 후의 면적을 이용하여 세정효율을 계산할 수 있게 된다. 세정효율의 계산식을 식(1)에 나타내었다.

$$\eta = \frac{A_i - A_o}{A_i} \times 100 \quad (1)$$

여기에서, η 는 세정효율[%], A_i 는 세정 전 지문의 면적, A_o 는 세정 후 지문의 면적을 나타낸다.

이와 같이 계산된 지문세정효율을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 세정시간이 길어질수록, 반복속도가 빨라질수록 세정효율이 높아진다는 것을 알 수 있다.

3.3 세정메카니즘

일반적으로 레이저 세정에는 광기계적(Photome-

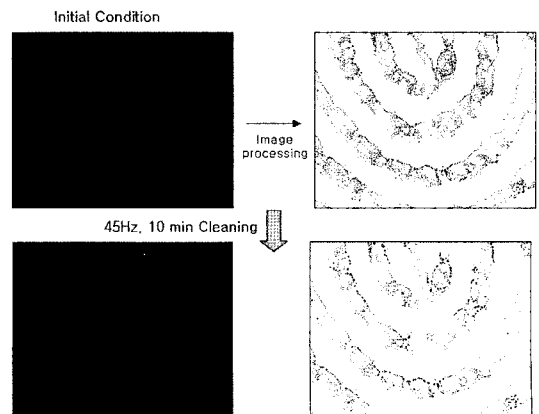


Fig. 5. Image processing of contaminated surface

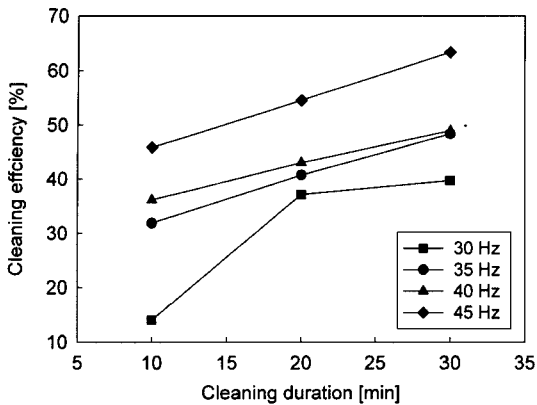


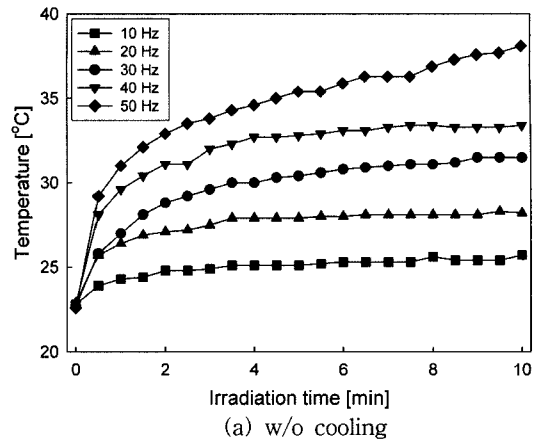
Fig. 6 Cleaning efficiency of fingerprint in various cleaning conditions

chanical), 광화학적(Photo-chemical), 광열적(Photo-thermal) 세정의 3가지 메카니즘이 널리 알려져 있다. 그러나 아직까지 이들의 정량적 평가에 대한 연구는 이루어져 있지 않다. 세정이 이루어지는 동안은 모든 세정메카니즘이 동시에 일어난다. 지문의 경우에도 유기물과 무기물이 혼재하기 때문에 위의 세가지 메카니즘이 동시에 작용하게 되므로, 광기계적 세정메카니즘, 광화학적 세정메카니즘, 광열적 세정메카니즘을 구분하는 것은 대단히 어렵다. 그러나 적어도 웨이퍼 표면의 온도를 조절함으로써 광열적 세정메카니즘의 효과를 제어할 수 있게 된다. 이에 대한 기초자료를 확보하기 위하여 웨이퍼 표면온도를 제어하여 세정실험을 수행하였다. Fig. 7에는 고정챔버에 냉각수의 공급유무에 따라 레이저 세정시 웨이퍼의 표면온도 측정결과를 나타내었다. Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 챔버를 냉각시키지 않았을 경우, 웨이퍼의 표면온도는 레이저세정이 이루어질수록, 반복속도가 높아짐에 따라 상승함을 알 수 있으며, 55 mJ/cm²의 레이저 에너지밀도에서 50 Hz의 반복속도로 10분간 세정하면 16의 온도상승이 이루어짐을 확인할 수 있다.

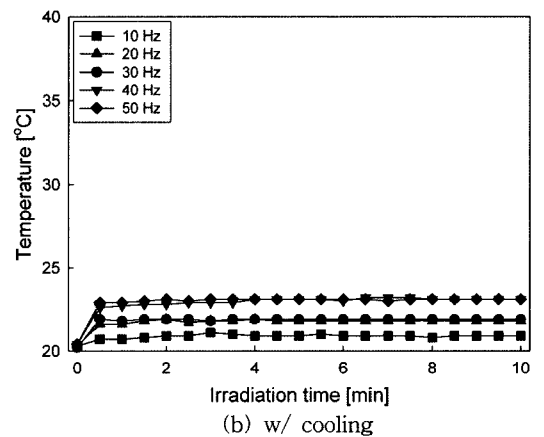
반면에, 챔버를 냉각시켰을 경우에는 추가적인 온도 상승이 미미하다는 것을 알 수 있다.

웨이퍼 표면의 냉각유무에 따라 상기의 조건에서 레이저세정을 수행한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 웨이퍼 표면을 냉각하지 않았을 때가 냉각시켰을 때보다 확연히 세정이 잘 이루어짐을 알 수 있다. 이들의 세정효율 차이가 추가적인 온도상승에 의한 효과라는 것을 알 수 있다.

다시 말해서, 세정대상물의 표면온도 상승이 광열적



(a) w/o cooling



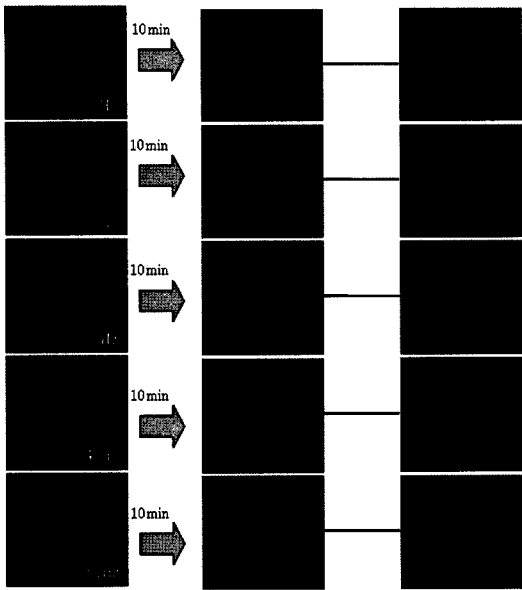
(b) w/ cooling

Fig. 7 Surface temperature on a wafer during a laser cleaning

세정메카니즘을 촉진시켜 세정이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있다.

3.4 레이저 세정의 정성적 평가

지문으로 오염된 웨이퍼 표면에 25 kV의 인가전압과 30Hz의 반복속도로 0~30분 동안 레이저를 조사한 후 10초 동안 0.2초씩 접촉각을 읽어 20번 측정값을 평균하여 Fig. 9에 나타내었다. 10분 동안 세정한 웨이퍼 표면의 접촉각은 오염되었을 경우에 비해 접촉각이 커짐을 확인하였으며 이후 시간경과에 따라 접촉각이 오염 전과 비슷해짐을 알 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 지문은 여러 가지의 유기물과 무기물로 구성되어 있다. 세정시간이 경과함에 따라 친수성 오염물질이 먼저 세정되고, 소수성 오염물질이 그 다음으로 세정됨을 간접적으로 확인할 수 있다. 즉, 10분 세정시 수분과의 반발력이 작은 친수성 물질의 세정이 먼저 이루어짐에 따라



(a) w/o cooling (b) w/ cooling

Fig. 8 Effect of surface cooling on cleaning efficiency

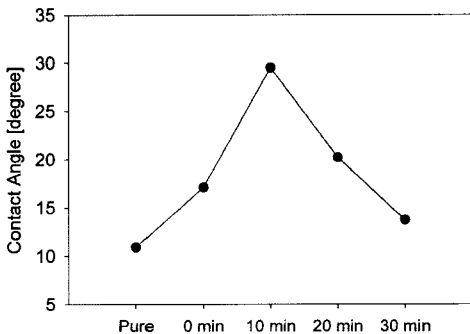
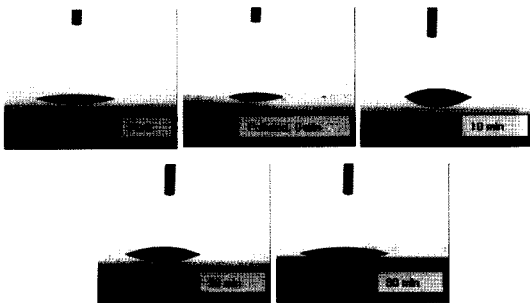


Fig. 9 Contact angle of a wafer surface as a function of cleaning duration

잔여 소수성 성분의 영향으로 접촉각이 커지며, 그 이후에는 소수성물질이 제거됨에 따라 접촉각이 작아지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

엑시머 레이저를 이용한 지문세정을 통하여 각 세정조건별 세정효율을 정량적으로 평가하였으며, 세정체의 온도조절을 통하여 광기계적, 광화학적 세정메카니즘과 광열적 세정메카니즘의 효과에 대한 기초자료를 확보하였다. 본 연구를 통해 얻은 구체적인 결론은 다음과 같다.

1) 세정시간이 증가함에 따라 세정이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있으며, 반복속도가 높아짐에 따라 세정에 필요한 시간이 짧아진다는 것을 알 수 있다.

2) 웨이퍼 표면상의 지문에 대한 현미경사진을 Image processing 기법을 통해 정량적으로 분석하였으며, 세정효율은 반복속도의 증가와 함께 선형적으로 높아진다는 것을 알았다.

3) 레이저 세정시 세정체 표면의 온도상승이 세정효율에 크게 영향을 미친다는 것을 정성적 평가로부터 알 수 있었으며, 세정체 표면의 온도제어 실험으로부터 온도상승이 광열적 세정메카니즘을 촉진시켜 세정이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

4) 접촉각 측정을 통해 오염된 웨이퍼 표면의 세정특성을 정성적으로 평가하였으며, 오염물질 중 친수성물질이 먼저 세정이 이루어지고, 소수성물질이 세정되는 현상을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 청정생산이전 확산사업(과제번호 : 2006-B034-00)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) 배재흠, "CFC 대체세정제와 대체세정기술", 공업화학 전망, 제 8권 제 2호, 2005, pp.25~40.
- (2) 한갑수, 임종성, 유기풍, "초임계 이산화탄소를 이용한 웨이퍼 세정기술", 공업화학 전망, 제 9권 제 1호, 2006, pp.2~11.
- (3) Grojo et al. (2007), "Experimental investigation of ablation mechanisms involved in dry laser cleaning", applied surface science, Vol. 253, Issue 19, pp.8309~8315.
- (4) Y. F. Lu, W. D. Song, Y. Zhang, M. H. Hong and T. C.

Chong, "Laser removal of particles from solid surfaces", RIKEN Review, No. 32, 2001, pp.64~70.

- (5) Y.-F. Lu, S. Komuro and Y. Aoyagi, "Laser-Induced Removal of Fingerprints from Glass and Quartz Surfaces", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 8, 1994,

pp.4691~4696.

- (6) R. McDonald and P. Biswas, "A methodology to establish the morphology of ambient aerosols", J. Air Waste Mgmt. Associn., Vol. 54, No. 9, 2004, pp.1069~1078.