

# 레이저 유기 충격파 클리닝 공정에서 펄스 에너지에 따른 영향

## The effect of pulse energy in the laser-induced shock wave cleaning process

연세대학교 금속공학과 김태훈, 김도훈  
(주)아이엠티 레이저ENG그룹 이종명, 조형기, 조성호

### I. 서론

반도체 제조 공정에 있어 웨이퍼 클리닝의 중요성은 점차 부각되고 있는 실정이다. 이는 웨이퍼 표면에 존재하는 금속, 입자 등과 같은 오염물질이 디바이스의 성능 및 수율(yield)에 큰 영향을 미치기 때문이다.[1] 최근에 삼성전자 측에서 발표한 회로선폭의 90나노인 메모리의 상용화라는 것은 이러한 오염물질 제거의 필요성을 더욱 부각시키는 것이라 할 수 있다.

일반적으로 사용되고 있는 반도체 웨이퍼 클리닝 방법으로는 화학 용매와 초순수(deionized water)의 혼합액을 사용하는 RCA 습식 클리닝 방법을 들 수 있다. 그러나 다량의 유독성 화학 약품과 물의 사용에 따른 환경 문제 및 높은 유지 비용, 거대한 장비 사이즈에 의한 점유면적(footprint)의 증가 및 장비 clustering의 어려움, 열악한 작업 환경, 구리 및 저유전막(low-k dielectrics) 등과 같은 신소재에 대한 부적합성 등 많은 문제점들로 인해, 이를 해결하고자 세계적으로 건식 클리닝에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[2,3,4]

본 논문에서는 레이저 유기 충격파 클리닝에 대한 간략한 소개와 더불어 충격파 발생시 음향 모니터링 기술을 이용하여 펄스 에너지가 미치는 영향을 살펴보고, 충격파 발생시 생기는 소음을 제거하기 위해 FFT 분석을 하였다.

### II. 레이저 유기 충격파 클리닝

Fig. 1의 오른쪽 그림은 레이저 유기 충격파 클리닝을 간단히 도식화한 것이다. 강력한 레이저 펄스를 클리닝 대상의 위쪽에 집속시키면, 공기중의 입자들이 레이저빔의 전자기장에 의해 파쇄(breakdown)가 일어나 이온화되며, 강력한 플라즈마를 발생시킨다. 이러한 순간적으로 발생한 플라즈마는 충격파를 발생시키고 그 충격파의 힘이 오염물의 부착력(adhesion force)보다 클 때 오염물의 제거가 가능하게 되는 것이다. 이를 레이저 유기 충격파 클리닝이라 한다.[2,5,6]

### III. 음향 모니터링(Acoustic monitoring)

강력한 레이저 펄스를 공기 중에 집속시키면, 공기 중에 존재하는 입자들이 강력한 레이저빔에 의해 이온화되어 플라즈마를 발생하는데, 이러한 플라즈마는 또한 빠르게 팽창한다. 이런 입자 및 플라즈마는 대기중에 충격파를 발생시키며, 동시에 손뼉을 칠 때 나는 소리와 마찬가지로 사람이 청취가 가능한 음파(acoustic wave)가 발생한다. 레이저 유기 충격파 클리닝 공정에서도 역시 마이크로폰을 이용해 측정이 가능하다.[7]

Fig. 1은 레이저 유기 충격파 클리닝시 발생하는 음향신호를 모니터링하는 시스템의 도식도이다.

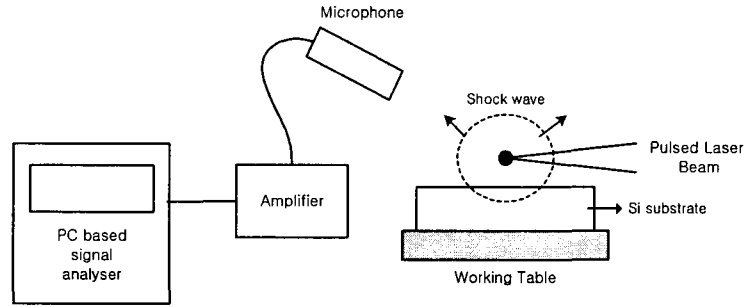


Fig. 1. Schematic diagram of an acoustic monitoring system

#### IV. 실험방법

Nd:YAG 레이저를 이용하여 레이저 유기 충격파 클리닝시, 발생하는 음파를 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 마이크론을 이용한 음향시스템을 이용하였다. 음파 측정시 300kHz로 sampling하였으며, 충격파에 미치는 레이저의 펄스 에너지의 영향을 조사하기 위해 800mJ에서 1300mJ까지 변화시켜가며 측정하였다. 이 때, 충격파가 발생할 수 있는 분위기는 공기 중으로 하여 실험을 수행하였으며, PC로 받은 데이터들은 MATLAB을 이용하여 분석하였다.

#### V. 결과 및 고찰

Fig. 2는 레이저 유기 충격파 클리닝시 음향 모니터링을 통해 받은 데이터를 MATLAB을 이용하여 한 펄스를 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 1300mJ(Fig. 2 (a))에서 강력한 음파가 발생하였으며, 펄스 에너지가 낮을수록(Fig. 2 (b)1100mJ (c)900mJ (d)800mJ) 음파의 강도가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 이를 정량적으로 확인하기 위해 0.02sec 동안의 RMS(Root Mean Square)를 구해 본 결과(Fig. 3), 에너지가 낮아질수록 RMS 값이 낮아짐을 확인하였으며, 이를 통해 레이저 유기 충격파 클리닝시 펄스 에너지 변화에 따른 음향 모니터링의 가능성을 확인하였다. 이러한 결과는 펄스 에너지가 클수록 공기 중의 입자가 쉽게 이온화하여 빠르게 더 큰 플라즈마를 생성시켜, 이때 순간적으로 발생하는 충격파의 강도가 커짐에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 충격파 발생시 생기는 음파 역시 공정시 하나의 소음이기 때문에 이를 제거하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 수행한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 6000hz 근방에서 지배적인 주파수가 나타남을 알 수 있다. 또한 10000hz에서 12000hz 영역에서도 작은 값이지만 충격파로 인해 발생한 음파가 이러한 주파수 영역을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이를 제거하기 위해 지배적인 주파수 영역대의 음파를 흡수할 수 있는 흡음체 등을 사용하면 제거가 가능할 것으로 사료된다.

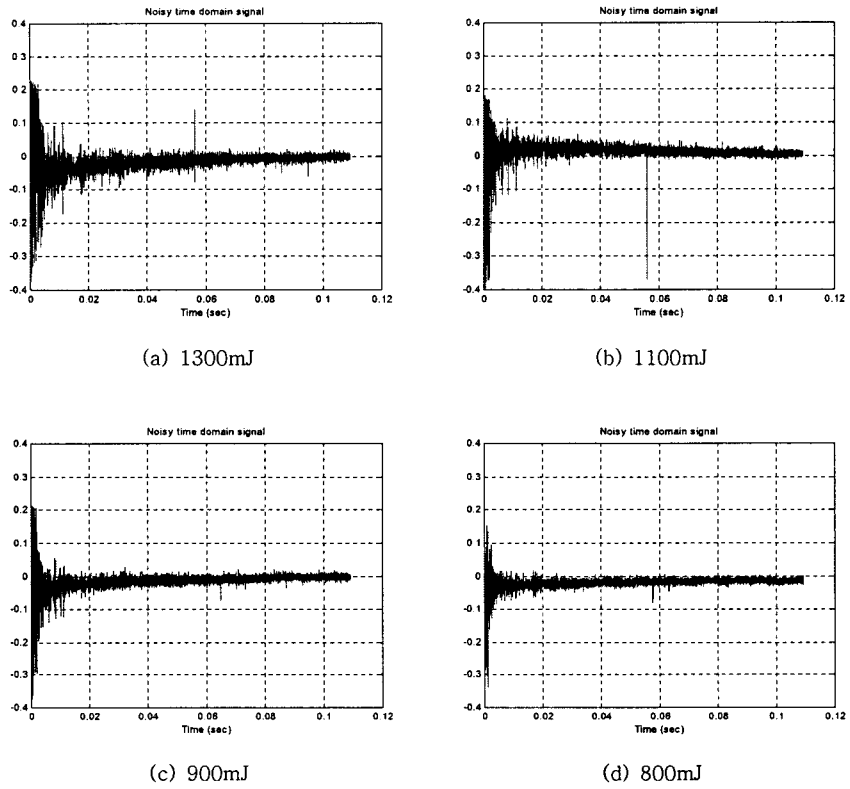


Fig. 2. Acoustic waves emitted from shock wave in laser-induced shock wave cleaning process as pulse energy of laser is reduced((a)1300mJ, (b)1100mJ, (c)900mJ, (d)800mJ).

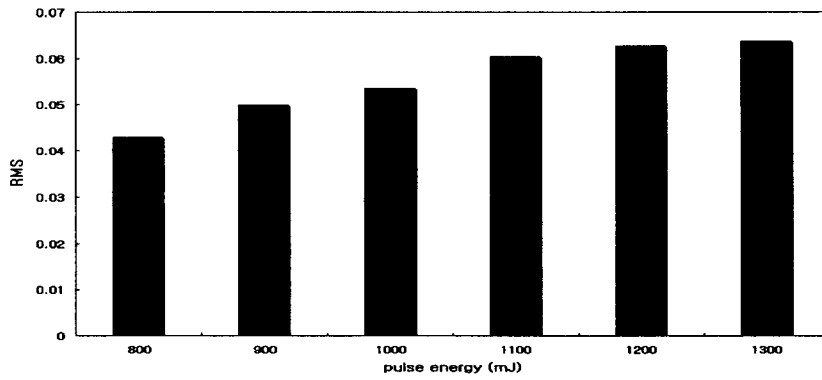


Fig. 3. RMS of acoustic emission intensity as a function of pulse energy

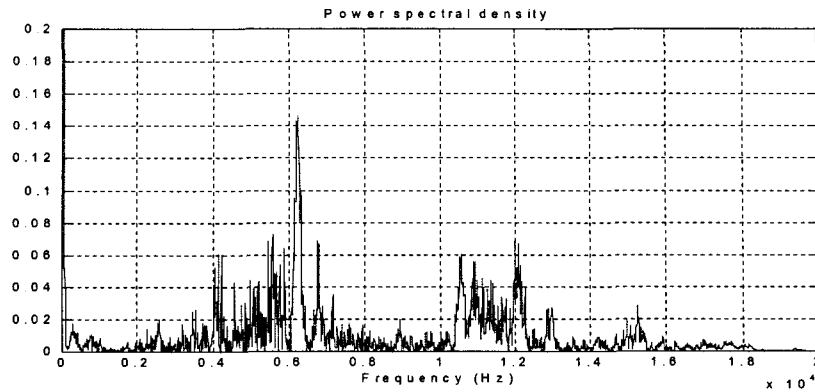


Fig. 4. FFT(Fast Fourier Transform) analysis of acoustic wave emitted from shock wave

## VI. 결론

레이저 유기 충격파 클리닝시 펄스 에너지가 미치는 영향을 음향 모니터링 기법을 이용하여 살펴보았다. 음향 모니터링 시스템을 이용하여 얻어진 음파의 강도는 펄스당 발생하는 음파의 파형을 비교해 보고, RMS 분석을 해 본 결과, 레이저빔의 펄스 에너지에 비례함을 확인하였다. 또한 FFT 분석을 통해 충격파로 발생하는 음파의 주파수(frequency)를 소음을 제거하기 위한 주파수 영역대를 확인할 수 있었다.

## VII. 참고문헌

1. 이종명, 조성호, "차세대 반도체 표면 클리닝 기술들의 특성 및 전망", 레이저가공학회지 4(3), pp. 22-29 (2001)
2. 이종명, 조성호, "레이저 유기 충격파를 이용한 웨이퍼 표면 미소입자 제거", 레이저가공학회지 5(2), pp. 9-15 (2002)
3. J. M. Lee, C. Curran, K. G. Watkins, "Laser removal of copper particles from silicon wafers using UV, visible and IR radiation", Applied Physics A 73 (2), pp. 219-224 (2001)
4. J. F. Weygand, N. Narayanswami, D. J. Syverson, "Cleaning silicon wafers with an argon/nitrogen cryogenic aerosol process", Technical report, FSI international Inc. (Aug. 1997)
5. J. M. Lee and K. G. Watkins, "Removal of small particles on silicon wafer by laser-induced airborne plasma shock wave", Journal of Applied Physics 89 (11), pp. 6496-6500 (2001)
6. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen, "Surface cleaning of silicon wafer by laser sparking", Journal of Laser Applications 13 (4), pp. 154-158 (2001)
7. 이종명, "레이저와 청정가공", 한림원 (2002)