

# 반도체 세정 공정용 Single-beam 메가소닉 시스템 설계

## Design of a single-beam Megasonic system for Semiconductor Cleaning Process

\*#김현세, 이양래, 임의수

\*#Hyunse Kim(hkim@kimm.re.kr), Yanglae Lee, Euisu Lim  
한국기계연구원 에너지플랜트연구본부

Key words : Megasonic; Finite element method (FEM); Nano-pattern cleaning

### 1. 서론

반도체 소자가 집적화되고 패턴의 선폭이 점점 더 미세해짐에 따라, 반도체 세정 공정에 있어 여러 장을 한꺼번에 세정하는 배치식 (Batch Type) 보다 매엽식 (Single Wafer Cleaning Type) 장비를 더 많이 사용하게 되었다. <sup>1</sup> 현재 수십 나노미터 정도의 패턴을 반도체 공정으로 제조하고 있으며, 각 공정에 앞서, 이보다 훨씬 미세한 나노급의 파티클들을 패턴 손상 없이 제거해야만 한다. <sup>2</sup> 이에 최근에는 약액과 더불어 초음파를 사용하는 매엽식 메가소닉에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. <sup>3,4</sup> 메가소닉 세정은 제거하고자 하는 오염물에 초음파 진동을 통해 물리적인 힘을 가하게 되므로, 약액의 화학적인 반응을 도와 세정효율을 높일 수 있다. 그러나 기존의 메가소닉 매엽식 장비들은 패턴의 손상 문제에 대한 고려가 부족한 상황이다. <sup>5</sup>

본 연구에서는 세정효율을 더 높이면서 패턴손상 문제를 해결해 줄 수 있는, Single-beam 을 이용한 메가소닉을 설계하고 제작한다. 이를 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 Ansys 를 사용하여 압전소자와 쿼츠 웨이브가이드의 임피던스를 해석하고 메가소닉 진동자 끝단에서의 음압분포를 예측한다. 그리고 해석 결과를 이용하여 초음파 전달체를 설계하고 압전소자가 부착된 쿼츠 웨이브가이드를 제작하게 된다. 마지막으로 성능평가를 위해서 음압 측정장비를 사용하여 음압분포를 측정하고 기존의 제품과 성능비교를 한다.

### 2. Single-beam 메가소닉 설계 및 제작

Single-beam 메가소닉은 압전소자를 포함한 구동부 및 진동을 전달해 주는 원통모양의 쿼츠 웨이브가이드로 구성되어 있다. 제작한 Single-beam 메가소닉의 사진이 Fig. 1 에 나와 있다. 세정 공정 시 받침부로부터 1MHz 대역의 파워를 입력받아서 압전소자를 진동하게 한다. 그리고 쿼츠 웨이브가이드 끝부분을 웨이퍼 상에 위치 시키고, 초음파 진동을 전달하여, 약액과 더불어 미세한 파티클들을 제거하게 된다.

세정효율을 더 높이면서 패턴손상 문제를 해결해 줄 수 있는 Single-beam 메가소닉을 설계하기 위해 먼저 Ansys 를 사용하여 압전소자의 해석을 수행하였다. 압전소자를 모델링하고 전압을 인가한 후 설계하고자 하는 987 kHz 를 중심으로 1 kHz 간격으로 0.70 MHz 부터 1.30 MHz 까지 조화응답 해석을 수행하였다. 해석결과 압전소자의 반공진 주파수는 987 kHz 였으며 이는 실제로 측정된 압전소자의 반공진 주파수 값과 일치함을 알 수 있었다.

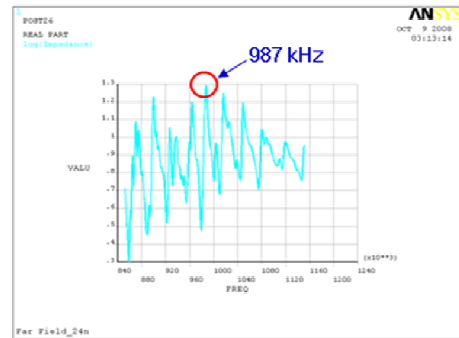
그 다음으로, Single-beam 메가소닉을 해석하기 위해 압전소자와 쿼츠 웨이브가이드를 모델링 하였다. 해석을 단순화하기 위해 2 차원 축대칭으로 모델링 하였으며, 압전소자의 상부와 하부에는 전압을 인가하였다. 쿼츠의 물성치로 밀도는  $2203 \text{ kgm}^{-3}$  이고 Young's Modulus 는  $7.24E10 \text{ N/m}$ , 포아송 비는 0.17 로 입력을 하였다. 역시 설계 기준값인 987 kHz 를 중심으로 1 kHz 간격으로 0.85 MHz 부터 1.15 MHz 까지 조화응답 해석을 수행하였다. 해석 결과, Fig. 2 (a)와 같이 최대 임피던스를 갖는 주파수는 987 kHz 로 나

왔다.

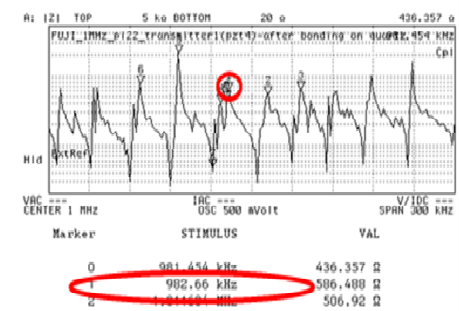
이 결과를 이용하여 제작한 Single-beam 메가소닉의 임피던스 그래프가 Fig. 2 (b)에 나와 있다. 최대 임피던스 값을 갖는 반공진 주파수는 987 kHz 로 측정되었으며, 이는 유한요소해석으로 예측한 값과 일치함을 알 수 있다.



Fig. 1. Single-beam megasonic system.



(a)



(b)

Fig. 2. (a) The FEM analysis result and (b) the measured impedance graph.

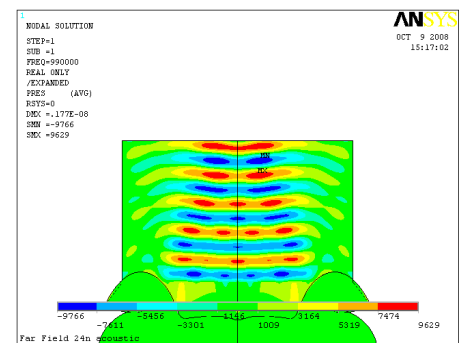


Fig. 3. The FEM acoustic analysis result.

이번에는 음장 해석을 수행하기 위해 메가소닉과 쿼츠

웨이브가이드의 끝부분에 유체를 모델링하고, 구조와 유체의 연성해석 (Coupled Field Analysis)을 위해 Fluid-structure Interface 를 설정하였다. 이 때 사용한 쿼츠의 물성값은 역시 밀도 2203 kgm<sup>-3</sup>, Young's Modulus 7.24E10 N/m, 포아송비 0.17 등 이었다. 해석 결과가 Fig. 3 에 나와 있으며 음압 분포가 비교적 균일할 것으로 예측되었다.

### 3. 음압 측정 실험 결과

Single-beam 메가소닉의 성능을 평가하기 위해 음압 측정 실험을 수행하였다. Fig. 4 에 음압을 측정하기 위한 장치가 나와 있다. Single-beam 메가소닉의 아래 면을 물 속에 잠기게 하고, 밑면에서 나오는 음압을 측정할 수 있도록 물 속에 음압센서를 설치하였다. 그리고 실험이 시작되면 센서가 지그재그로 정밀하게 움직이면서 0.05 mm 간격으로 음압을 측정하게 된다. 성능평가를 위해 입력 파워를 변화시켜 가며 음압분포를 측정하였다. Single-beam 메가소닉과 비교 하기 위해 기존에 개발되어 판매되고 있는 B-type 제품의 음압을 동일한 조건에서, 역시 입력 파워를 바꾸어 가며 측정하였다.

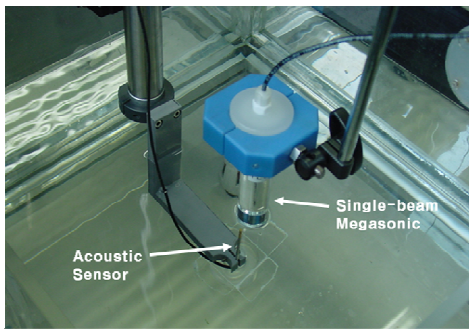


Fig. 4. Experimental setup.

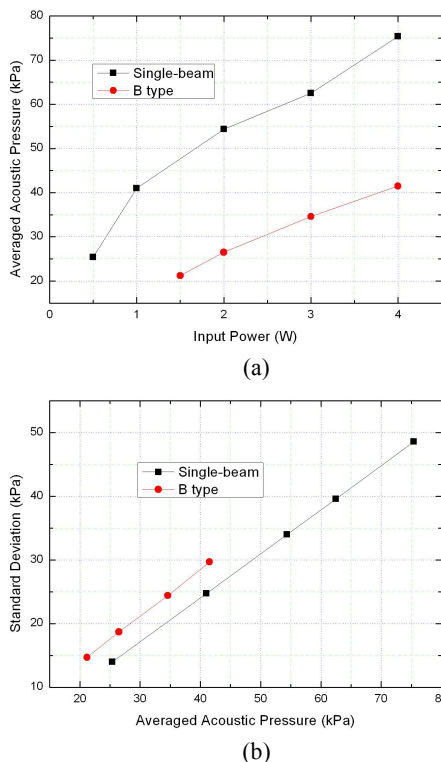


Fig. 5. (a) Comparisons of averaged acoustic pressures and (b) standard deviations. 측정을 완료한 후 입력 파워에 따른 출력의 변화, 즉

음압의 평균값의 변화를 보여주는 그래프를 Fig. 5 (a)와 같이 얻을 수 있었다. 같은 입력 파워에서 Single-beam 메가소닉의 음압 평균값이 B-type 제품에 비해 훨씬 높음을 알 수 있다. 데이터를 분석한 결과 동일한 조건에서 음압 평균값이 약 89% 높다는 것을 알 수 있었다. 이는 출력이 더 높음을 의미하며, 실제 공정 적용 시 세정이 더 효율적으로 이루어 질 것으로 보인다.

좀 더 정밀한 비교를 위해 측정 데이터의 표준 편차를 구해 보았다. 그 결과 평균음압에 대한 표준 편차의 변화 그래프를 Fig. 5 (b)에 나와 있다. 데이터를 분석한 결과, 같은 평균음압에서 Single-beam 메가소닉의 표준 편차가 B-type 제품에 비해 약 20% 낮음을 알 수 있었다. 즉 기존에 비해 좀 더 균일한 음압분포를 가진다는 것을 의미하며, 세정 시 미세패턴을 손상시킬 가능성이 더 낮아, 성능이 우수하다고 볼 수 있다.

### 4. 결론

세정효율을 높이며 패턴손상 문제를 해결해 줄 수 있는 Single-beam 메가소닉을 설계하기 위해 Ansys 를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석결과 압전소자의 반공진 주파수는 987 kHz 였으며 이는 실제로 측정한 값과 일치함을 알 수 있었다. 또한 Single-beam 메가소닉을 해석한 결과, 최대 임피던스를 갖는 주파수는 역시 987 kHz 로 설계 기준값과 일치하였다. 음압분포를 예측하기 위해 음장 해석을 수행하였고, 이를 통해 비교적 균일한 음압분포를 예측할 수 있었다. 이러한 해석결과를 바탕으로 메가소닉을 제작하였고 성능 평가를 위해 음압을 측정하였다. 측정 결과, 같은 입력 파워에서 Single-beam 메가소닉의 음압 평균값이 B-type 제품에 비해 약 89% 높게 나와 실제 공정 적용 시 세정이 더 효율적으로 이루어 질 수 있다고 보여진다. 좀 더 정밀한 비교를 위해 측정 데이터의 표준 편차를 계산하여 데이터를 분석한 결과, 같은 평균음압에서 Single-beam 메가소닉의 표준 편차가 B-type 제품에 비해 약 20% 낮음을 알 수 있었다. 즉 기존에 비해 좀 더 균일한 음압분포를 가짐으로 인해, 세정 시 미세패턴을 손상시킬 가능성이 더 낮아 성능이 더 우수하다고 판단된다.

### 후기

본 연구는 산업기술연구회 기본사업 (NK144E)의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

- Lui, L., Walter, A. and Novak, R., "Single-Wafer Tool Performs Re-contamination Free in Wet Wafer Cleaning," ECS Trans., 1 (3), 150-157, 2005.
- Park, I. S., Choi, S. J., Hong, C. K., Cho, H. K. Lu, Y. Q., Baiya, E., Rosato, J. J., Yalamanchili, M. R. and Hansen, E., "Meeting the Critical Challenges for 65 nm and beyond Using a Single Wafer Processing with Novel Megasonics and Drying Technologies," ECS Trans., 1 (3), 172-179, 2005.
- Lippert, A., Engesser, P., Gleissner, A., Koffler, M., Kumnig, F., Obwegger, R., Pfeuffer, A., Rogatschig, R. and Okorn-schmidt, H., "Keys to Advanced Single Wafer Cleaning - Gas Contend, Bubble Size Distribution and Chemistry," ECS Trans., 1 (3), 158-163, 2005.
- Lee, Y., Lim, E. Kang, K. Kim, H. Lee, S.-H. and Park, J.-G., "Acoustic Field Analysis of a T Type Waveguide in Single Wafer Megasonic Cleaning and Its Effect on Particle Removal," Proceedings of UCPSS, 65-66, 2006.
- Kanegsberg, B., "Critical Cleaning," CRC Press, 239, 2001.