

# 나노패턴 세정을 위한 소형 메가소닉 모듈 개발

김현세<sup>†</sup> · 이양래<sup>\*</sup> · 임의수<sup>\*</sup>

## Development of a Small-type Megasonic Module for Nano-scale Pattern Cleaning

Hyunse Kim, Yanglae Lee and Euisu Lim

**Key Words :** Megasonic (메가소닉), Finite element method (FEM) (유한요소해석), Nano-pattern cleaning (나노패턴 세정)

### Abstract

A small L-type megasonic module for nano-pattern cleaning was designed and manufactured. The impedance graph of the quartz waveguide with a piezoelectric actuator was predicted using finite element method (FEM). The peak value of the piezoelectric actuator alone was 3.373 MHz, which was the same as the experimentally measured value of 3.373 MHz (0.0% error). In addition, the maximum impedance value of the quartz waveguide with the actuator was 3.373 MHz, which agreed well with the measured value of 3.362 MHz (0.3% error). The acoustic pressures of a conventional megasonic system (3 MHz) and the developed system under similar conditions were measured and compared. The results showed that the maximum values and standard deviations of the developed system decreased by 29% and 18%, respectively, compared with the conventional type. This suggests that the small L-type would have higher particle removal efficiency with lower possibilities of pattern damages.

### 1. 서론

반도체 제조는 막의 증착에서부터, Photolithography, 식각 등의 여러 가지 공정을 거쳐 이루어진다. 그 중에 미세한 이물질들을 제거해주는 세정 공정은 매 단계마다 필요하므로, 전체적으로 볼 때 적지 않은 비중을 차지하고 있다. 이러한 세정 공정은 웨이퍼가 대구경화 됨에 따라 여러 장을 한꺼번에 세정하기 보다는 한 장씩 세정을 하는 매엽식 장비가 주로 사용되고 있다. 매엽식 세정은 공정시간이 짧고 세정 효율이 더 우수한 등의 장점이 있다 [1].

한편 반도체 패터닝이 점차 미세화 됨에 따라 패터닝의 손상 없이 나노파티클들을 세정하는 것이

새로운 이슈로 떠오르게 되었다. 이러한 문제점들을 해결해 줄 수 있는 장비가 매엽식 메가소닉 세정장비이다. 즉 한 장씩 세정을 하되, 약액과 더불어 초음파 통해 물리적인 힘을 가하여 나노급의 파티클들을 제거하는 방식을 사용하는 장비이다 [2]. 실제로 반도체 공정에 일부 사용되고 있으며, 이를 응용한 여러 가지 방식의 장비들이 개발되고 있다 [3-4]. 그 중에 초음파 전달체의 형상이 L-type 인 경우가 음압의 분포가 더 고르고 패터닝의 손상을 일으킬 가능성도 적은 것으로 발표되었다 [5].

본 논문에서는 이러한 L-type 퀴즈바의 장점을 살리면서 세정 시스템에 모듈로 장착이 되기 용이한 소형 메가소닉 모듈에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해 압전소자와 퀴즈 웨이브가이드를 모델링하고 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 해석 결과를 바탕으로 실제로 퀴즈 소재의 소형 메가소닉 모듈을 제작하였으며, 이의 성능을 평가하였다.

<sup>†</sup> 정회원, 한국기계연구원, 에너지기계연구본부  
E-mail : hkim@kimm.re.kr  
TEL : (042)868-7967 FAX : (042)868-7355

<sup>\*</sup> 한국기계연구원, 에너지기계연구본부

## 2. 메가소닉 설계

### 2.1 소형 메가소닉 모듈

소형 L-type 메가소닉 모듈은 크게 압전소자와 쿼츠 웨이브가이드로 구성되어 있다. Fig. 1에 제작한 웨이브가이드의 사진이 나와 있다. 왼편에 L자 모양으로 된 투명한 부분이 초음파를 전달해 주는 쿼츠 소재의 웨이브가이드이며, 오른편 내부에는  $\phi 13$  mm의 소형 압전소자가 부착되어 있다. 발진부로부터 3 MHz 대역의 파워를 입력받게 되면, 왼편의 끝단에서 초음파가 발생하게 되는 원리로 작동하여 미세한 파티클들을 제거할 수 있게 된다. 기존의 L-type에 비하여 사이즈가 작으므로 세정 시스템에 모듈로서 장착이 용이한 장점이 있다.

### 2.2 압전소자 해석

웨이브가이드를 설계하기 위해 우선 압전소자의 임피던스 특성을 상용유한요소해석 프로그램인 Ansys를 이용하여 해석해 보았다. Fig. 2에 압전소자의 해석 모델이 나와 있다. 해석을 단순화하기 위해 축대칭이며 2차원으로 되어 있으며 상부와 하부에는 전압 Load가 인가되어 있는 것을 볼 수 있다.

설계하고자 하는 주파수인 압전소자 반공진주파수 3.373 MHz를 중심으로 2.900 MHz부터 3.600 MHz까지 조화응답 해석을 수행하였다. 해석 결과는 Fig. 2(a)에 나와 있으며 임피던스의 최고값은 주파수가 3.373 MHz일 때로 나왔다. 실제로 제작한 소형 압전소자의 임피던스를 측정 한 결과가 Fig. 2(b)에 나와 있다. 최대 임피던스는 주파수가 3.373 MHz일 때 나왔으며, 결과적으로 유한요소해석으로 예측한 값과 잘 일치하였다.



Fig. 1 The small L-type quartz waveguide

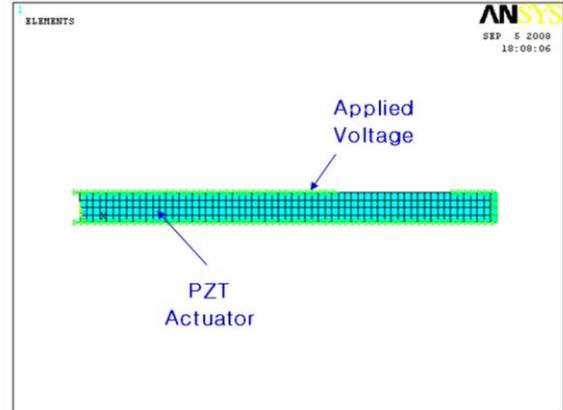
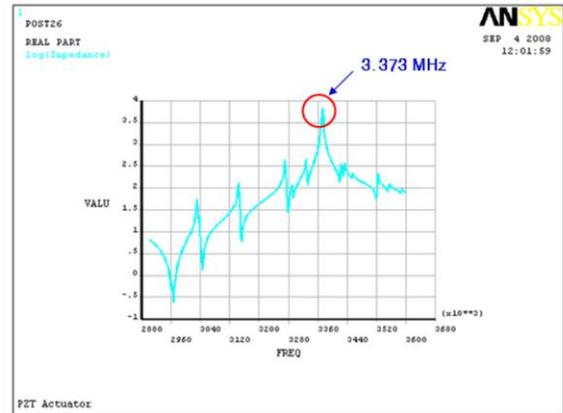
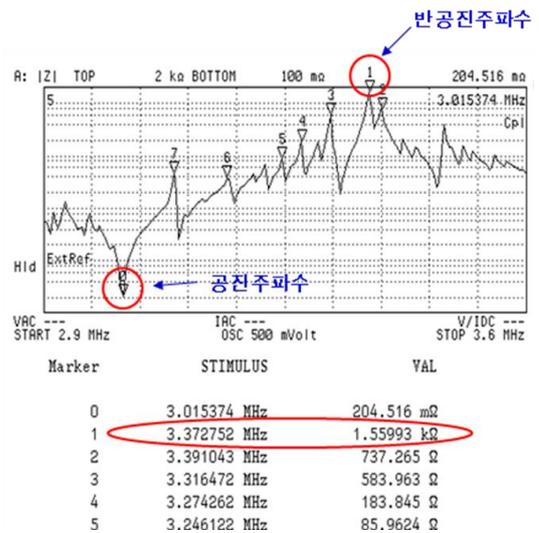


Fig. 2 Analysis model of the PZT actuator



(a)



(b)

Fig. 3 (a) The FEM and (b) the measured result of the PZT actuator impedance

### 2.3 쿼츠 웨이브가이드 설계

이번에는 압전소자가 부착된 쿼츠 웨이브가이드의 설계를 위해 유한요소해석을 수행하였다. 이를 위해 Fig. 4 에 나와 있는 것처럼 축대칭이며 2 차원으로 모델링을 하였다. 아래 쪽에 전압 Load 가 인가되어 있는 부분이 압전소자이며, 위쪽의 3 단으로 보이는 부분이 쿼츠 소재의 초음파 전달체이다. 사용한 쿼츠의 물성치로는 밀도가  $2203 \text{ kgm}^{-3}$ , Young's Modulus 는  $7.24\text{E}10 \text{ N/m}$  이며, 포아송 비는 0.17 이었다.

역시 압전소자 설계주파수 3.373 MHz 를 중심으로 2.900 MHz 부터 3.600 MHz 까지 조화응답 해석을 수행하였으며, 해석 결과는 Fig. 5 (a)에 나와 있다. 이 때의 반공진 주파수는 임피던스가 최고값을 갖는 3.373 MHz 였으며, 실제로 제작한 소형 압전소자의 임피던스를 측정한 결과 값인 3.362 MHz 를 잘 예측하였다고 판단된다 (0.3% 오차). 측정한 임피던스 그래프는 Fig. 5 (b)에 나와 있다.

### 3. 실험

제작한 소형 메가소닉 모듈의 성능을 평가하기 위해 음압분포 측정장치를 이용하여 음압을 측정하였다. 실험 장치는 Fig. 6 에 나와 있다. 이 시스템은 3축 정밀 제어장치를 통해 0.05 mm 간격으로 센서를 이동시키면서 촘촘히 스캐닝할 수 있게 제작되어 있다. 그림의 왼편에 보이는 수조의 물속에 메가소닉의 끝부분을 위치시키고 아래쪽에 잠겨있는 센서를 이동시키면서 쿼츠의 밑단에서 나오는 음압을 측정하여 실험을 진행하였다. 또한 메가소닉의 성능을 비교하기 위해 기존에 개발 되어 상용화된 제품의 음압을 동일한 조건에서 측정하였다.

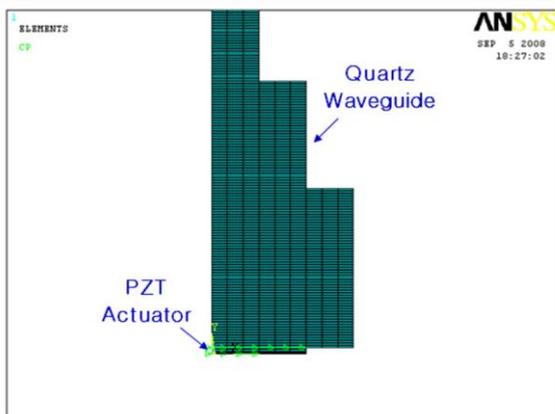
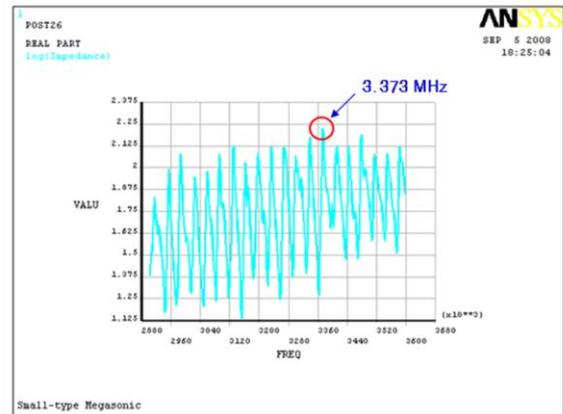
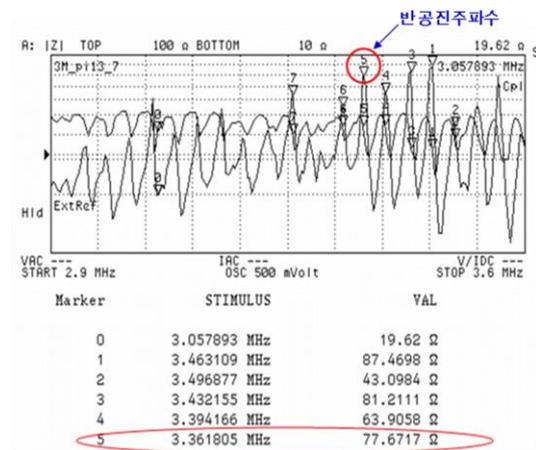


Fig. 4 Analysis model of the quartz waveguide



(a)



(b)

Fig. 5 (a) The FEM and (b) the measured result of the quartz waveguide impedance

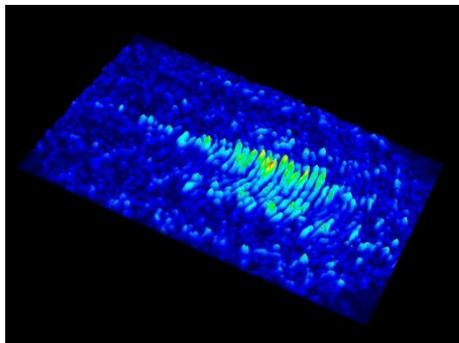


Fig. 6 Experimental setup for the acoustic pressure measurements

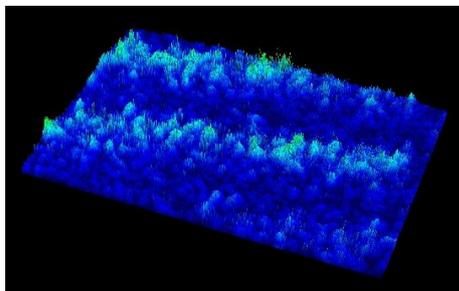
#### 4. 결과 및 토의

평균음압이 유사한 조건에서 성능을 비교하였으며 이때의 평균음압은 A-type 이 21 kPa, 소형 메가소닉이 23 kPa 이었다. 아래 Fig. 7 (a)에 A-type 의 측정결과 나와 있으며 Fig. 7 (b)에는 소형 메가소닉 모듈의 음압분포가 나와 있다. 밝은 색이면서 높게 솟은 부분이 상대적으로 높은 음압을 나타내는 부분이며, 반대로 어두운 색이면서 골짜기로 보이는 부분은 낮은 값을 가지는 곳이다. 두 그림을 비교해보면 전체적인 음압의 분포가 소형 메가소닉 모듈이 더 우수함을 알 수 있다.

좀 더 정확한 비교를 위해 각 데이터들의 최대값과 표준편차를 분석해 보았다. A-type 의 경우 최대음압은 179 kPa 로 평균의 8.4 배인 반면, 소형 L-type 은 134kPa 로 평균의 6.0 배가 되며 A-type 에 비해 더 낮은 값을 보여 주었다. 즉 기존의 메가소닉 장치에 비해 최대음압은 29% 감소하였다. 최대값이 더 낮게 되면 그만큼 패턴 손상이 발생할 확률이 낮다는 의미이므로 미세패턴 세정에 적합하게 된다. 그러므로 소형 메가소닉이 더 우수하다고 보여진다.



(a)



(b)

**Fig. 7** Three-dimensional (3-D) plot of (a) the current megasonic system (A-type) and (b) the small L-type (KIMM) acoustic pressure

또한 A-type 의 표준편차는 16 kPa 로 평균의 0.8 배인 반면, L-type 의 경우는 14 kPa 로 평균의 0.6 배가 되며 A-type 에 비해 더 낮았다. 즉 기존의 메가소닉 장치에 비해 표준편차는 18% 감소한 결과를 얻었다. 이는 L-type 의 음압분포가 더 고르다고 볼 수 있으며 세정의 효율을 높여주는 역할을 한다.

#### 5. 결론

소형 L-type 메가소닉 모듈을 FEM 프로그램인 Ansys 를 이용하여 설계하였다. 압전소자 단독의 반공진 주파수는 3.373 MHz 로 예측되었으며, 이는 실제 측정결과인 3.373 MHz 와 잘 일치하였다. 또한 압전소자가 부착된 쿼츠 웨이브가이드의 반공진 주파수 해석결과는 3.373 MHz 이었으며, 실제로 제작한 소형 압전소자의 임피던스를 측정할 결과 값인 3.362 MHz 를 잘 예측한 것으로 보인다 (0.3% 오차).

웨이브가이드의 성능을 평가하기 위해 음압측정장치를 사용하여 끝단에서의 음압의 분포를 분석하였으며, 기존의 메가소닉 장치에 비해 최대음압은 29%, 표준편차는 18% 감소한 결과를 얻었다. 이는 기존 제품에 비해 패턴손상이 일어날 확률을 더 낮추었고 세정의 효율은 더 높였다고 볼 수 있다. 그러므로 소형 메가소닉 모듈이 세정 공정에 적용된다면 미세패턴을 손상 없이 효율적으로 세정할 수 있을 것으로 기대 된다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 중기거점기술개발사업 (MM8610)의 지원을 받아 수행되었습니다

#### 참고문헌

- (1) Park, I. S., Choi, S. J., Hong, C. K., Cho, H. K. and Lu, Y. Q., Baiya, E., Rosato, J. J., Yalamanchili, M. R. and Hansen, E., 2005, "Meeting the Critical Challenges for 65 nm and beyond Using a Single Wafer Processing with Novel Megasonics and Drying Technologies," *ECS Trans.*, Vol. 1, No. 3, pp. 172~179.
- (2) Lee, Y., Lim, E., Kang, K., Kim, H. Lee, S.-H. and Park, J.-G., 2006, "Acoustic Field Analysis of a T Type Waveguide in Single Wafer Megasonic Cleaning and

- Its Effect on Particle Removal," *Proceedings of UCPSS*, pp. 65~66.
- (3) Lui, L., Walter, A. and Novak, R., 2005, "Single-Wafer Tool Performs Re-contamination Free in Wet Wafer Cleaning," *ECS Trans.*, Vol. 1, No. 3, pp. 150~157.
- (4) Lippert, A., Engesser, P., Gleissner, A., Koffler, M., Kumnig, F., Obweiger, R., Pfeuffer, A., Rogatschig, R. and Okorn-Schmidt, H., 2005, "Keys to Advanced Single Wafer Cleaning - Gas Content, Bubble Size Distribution and Chemistry," *ECS Trans.*, Vol. 1, No. 3, pp. 158~163.
- (5) Kim, H., Lee, Y., Lim, E., Kang, K., Park, J.-G., Lee and S.-H., Park, 2006, "Acoustic Field Analysis of a L Type Waveguide in Single Wafer Megasonic Cleaning", *Proceedings of Acoustical Society of Korea*, Vol. 25, No. 2, pp. 189~190.