

## Megasonic wave를 이용한 실리콘 이방성 습식 식각의 특성 개선

제우성<sup>a,\*</sup> · 석창길<sup>b</sup>

<sup>a</sup>동명정보대학교, 메카트로닉스 공학과, 부산

<sup>b</sup>(주) 울텍, 대구

### The Improved Characteristics of Wet Anisotropic Etching of Si with Megasonic Wave

Woo-Seong Che<sup>a</sup> and Chang-Gil Suk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Dept. of Mechatronics, Tongmyong University of Information Technology, Busan

<sup>b</sup>Ultech.Co., Ltd, Daegu

**초 록:** 메가소닉파를 이용하여 KOH용액에서의 실리콘 이방성 습식 식각의 특성들을 개선하기 위한 새로운 방법에 관한 연구를 하였다. P형 6인치 실리콘 웨이퍼를 메가소닉파를 이용한 상태와 이용하지 않은 상태에서 식각 실험을 각각 수행하여 식각 특성들을 비교하였다. 메가소닉파는 식각균일도, 표면 조도 등과 같은 습식 식각의 특성들을 개선시키는 것으로 나타났다. 메가소닉파를 이용했을 때 식각 균일도는 전체 웨이퍼 표면의  $\pm 1\%$ 이하 이며, 메가소닉파를 이용하지 않았을 때는  $\pm 20\%$ 이상이다. 식각 공정에 사용한 초기의 실리콘 웨이퍼의 제곱 평균 표면 조도( $R_{rms}$ )는 0.23 nm이다. 자기 진동과 초음파 진동을 이용한 식각에서의 평균 표면 조도는 각각 566 nm, 66 nm로 보고 되었지만, 메가소닉파를 이용하여 37  $\mu$ m 깊이로 식각한 경우 평균 표면 조도가 1.7 nm임을 실험을 통하여 검증하였다. 이러한 결과는 메가소닉파를 이용한 식각 방법이 식각 균일도, 표면 평균 조도 등과 같은 식각 특성들을 개선시키는데 효과적인 방법임을 알 수 있다.

**Abstract:** A new method to improve the wet etching characteristics is described. The anisotropic wet-etching of (100) Si with megasonic wave has been studied in KOH solution. Etching characteristics of p-type (100) 6 inch Si have been explored with and without megasonic irradiation. It has been observed that megasonic irradiation improves the characteristics of wet etching such as an etch uniformity and surface roughness. The etching uniformity on the whole wafer with and without megasonic irradiation were less than  $\pm 1\%$  and more than 20%, respectively. The initial root-mean-square roughness( $R_{rms}$ ) of single crystal silicon is 0.23 nm. It has been reported that the roughnesses with magnetic stirring and ultrasonic agitation were 566 nm and 66 nm, respectively. Comparing with the results, etching with megasonic irradiation achieved the  $R_{rms}$  of 1.7 nm on the surface after the 37  $\mu$ m of etching depth. Wet etching of silicon with megasonic irradiation can maintain nearly the original surface roughness after etching process. The results have verified that the megasonic irradiation is an effective way to improve the etching characteristics such as etch uniformity and surface roughness.

**Keywords:** Megasonic wave, etching characteristics, anisotropic etching, surface roughness

---

\*Corresponding author  
E-mail: wsche@tit.ac.kr

## 1. 서 론

습식 식각은 압력센서의 다이어프램, 광섬유 배열을 위한 V형 그루브 등을 제작하기 위한 마이크로머시닝에 있어서 핵심 기술 중 하나이다. MEMS 시장이 증가함에 따라 이방성 습식 식각에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 식각 공정의 정밀한 공정 제어에 관한 연구가 관심의 대상이 되고 있다. 특히 식각된 표면의 조도는 마이크로머시닝으로 제작된 소자의 상업화에서 가장 핵심적인 요소가 될 수 있으며, 마이크로머시닝으로 제작된 소자들을 본딩 등의 기술을 이용하여 조립하고자 할 때 가장 중요한 요소가 될 수 있다.

이러한 습식 식각으로 제작된 소자의 표면조도를 개선하기 위해서 초음파 진동을 이용하는 연구가 수행되어 왔다<sup>3-7)</sup>. 초음파 진동은 일반적으로 웨이퍼의 클리닝 처리동안 오염된 미립자들을 제거하는데 널리 사용되어왔다. 이러한 연구들은 주로 식각 공정 중에 발생하는 수소 거품과 규산염 등의 미립자가 식각을 순간적으로 방해하여 표면 조도를 나쁘게 한다는 점에 착안하여, 클리닝 공정에서 사용하는 초음파 진동을 식각 공정에 도입하여 표면 조도를 개선 시키는 방향으로 연구를 수행하였다.

최근에 메가소닉파가 초음파 진동을 대신하여 웨이퍼 클리닝 처리 공정에 사용되는 경향이 있다. 왜냐하면 초음파로 인하여 발생한 캐비테이션(cavitation)이 웨이퍼를 손상 시키는 경우가 발생하고 있고, 메가소닉파의 경우 상대적으로 캐비테이션이 거의 발생하지 않기 때문이다.

본 연구에서는 메가소닉파를 이방성 습식 식각에 사용하였고, 이 경우에 있어서 식각의 특성들과 그 효과를 실험하고 비교하였다. 실험을 통하여 얻은 결과들은 메가소닉파를 이용하는 것이 웨이퍼 전체에서 매우 우수한 표면 조도와 식각 균일도를 얻을 수 있는 아주 효과적인 방법임을 보여주고 있다.

## 2. 실험

### 2.1 습식 식각을 위한 장치

Fig. 1은 본 연구에서 개발한 습식 식각 장치에 대한 개요도이다. 이 장치의 주요 구성 요소는 메

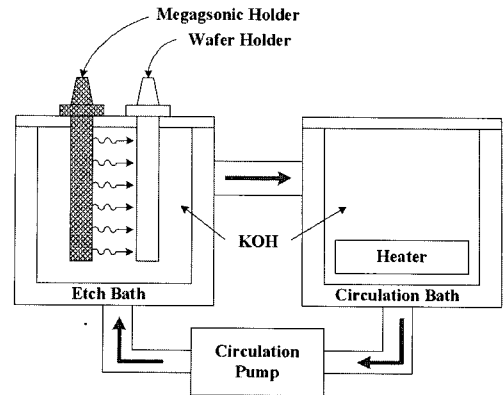


Fig. 1. Schematic view of the apparatus for wet etching with megasonic irradiation.

가소닉 홀더, 웨이퍼홀더, 식각조, 가열조 그리고 순환펌프 등이다. 메가소닉파는 KOH 용액 내부에 있는 메가소닉 발생장치로부터 웨이퍼 표면으로 전달된다. 메가소닉 홀더가 웨이퍼 표면에 수직 평행으로 위치해 있기 때문에 메가소닉파는 웨이퍼 표면 전체에 균일하게 전달될 수 있다. 그리고 가열조와 순환펌프를 사용하여 KOH 용액의 온도와 농도가 식각조 내부에서 전체적으로 균일하게 유지될 수 있도록 구성되어 있다.

### 2.2 식각 실험 및 측정

식각 실험에 사용된 초기 웨이퍼는 6인치P형 실리콘 웨이퍼이다. 2000Å 실리콘 질화막을 식각 마스크로 사용하였다. 식각 윈도우의 크기는 2 mm × 2 mm 이며, 본 연구의 모든 식각 실험들은 30 wt% KOH 용액 내에서 이루어 졌다. 메가소닉파가 적용된 경우와 적용되지 않은 경우에 대해서 식각시간, 메가소닉파의 에너지, KOH 용액의 온도 등의 공정변수를 변화시키면서 실험을 수행하였다.

Table 1에 본 실험에서 사용한 공정 변수가 요약되어있다. 실험이후 식각된 표면은 주사형 전자현미경(SEM)으로 검사하였다. 알파 스텝(Alpha step)과 원자 현미경(AFM)을 이용하여 표면 조도를 측정하였으며, 식각 깊이와 평균 표면 조도( $R_{ave}$ )는 알파 스텝을 이용하여 측정하였다. 원자현미경을 사용하여 평균 표면조도( $R_{ave}$ )와 제곱 평균 표면 조도( $R_{rms}$ )를 측정할 경우  $49 \mu\text{m}^2$  면적에

**Table 1.** Process Parameters

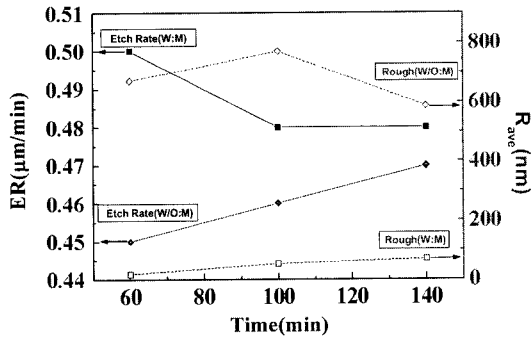
Process Parameter	Values
KOH Concentration	30 wt %
Temperature	66~80°C
Megasonic Power	3~8.6 W/ cm <sup>2</sup>
Megasonic Frequency	1 MHz
Etch Time	60~140 min

대하여 측정 하였다. 그리고 알파 스텝을 이용하여 측정할 때의 스케닝 길이는 800 μm이었다.

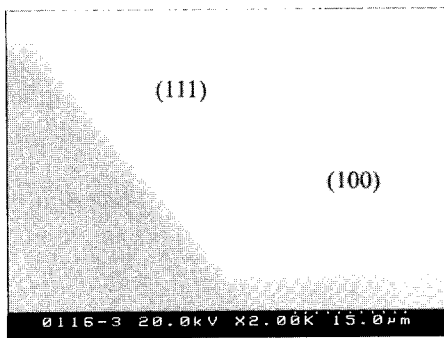
### 3. 실험결과 및 검토

#### 3.1 메가소닉파의 효과

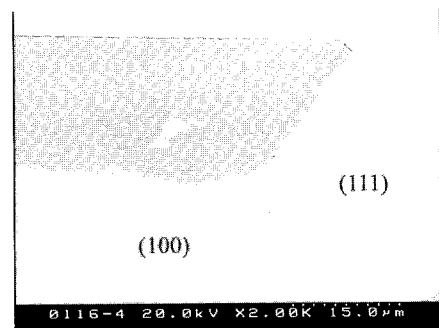
Fig. 2와 Fig. 3에 실리콘 웨이퍼를 66°C, 30wt% KOH 용액에서 메가소닉파를 적용시킨 경우와 적



**Fig. 2.** The effects of megasonic irradiation on etching rate and surface roughness.



(a) With megasonic irradiation



(b) Without megasonic irradiation

**Fig. 3.** The SEM pictures of etched surface.

용시키지 않은 경우로 나누어 식각한 결과가 도시되어 있다. 사용된 메가소닉파의 주파수는 1MHz 이고 에너지밀도는 4.4W/cm<sup>2</sup>이다.

에칭시간에 따른 식각 결과를 알파 스텝으로 측정하여 Fig. 2에 정리하였다. 이로부터 알 수 있듯이 메가소닉을 적용시킨 경우에 있어서 표면 조도 ( $R_{ave}$ )가 매우 향상되었다. 식각 1시간 후의 결과를 보면, 표면 조도( $R_{ave}$ )가 메가소닉을 적용시킨 경우에 53 nm이고 메가소닉을 적용시키지 않은 경우에 770 nm이다. 메가소닉을 이용하여 식각된 표면 조도는 에칭 시간이 진행됨에 따라 표면 조도가 증가하기는 하지만, 메가소닉을 이용하지 않은 상태의 조도의 10분의 1 미만이다.

Fig. 2에 도시된 식각율의 경우를 살펴보면 메가소닉이 적용된 경우와 메가소닉이 적용되지 않은 경우 평균적으로 20 nm/min내외이며, 식각율이 향상되었다고 판단할 만큼의 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 2의 식각율 그래프를 살펴보면 메가소닉을 적용한 경우에는 시간이 증가함에 따라 감소하고, 메가소닉을 적용하지 않는 경우에는 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있어 보이나 이는 20 nm/min내외의 측정 오차로 판단된다.

별도의 측정을 통하여 측정한 식각 1시간 후의 식각 균일도는 메가소닉을 적용 시킨 경우는 6인치 웨이퍼에서 ±1%이하였으며, 메가소닉을 적용시키지 않은 경우에는 ±21%로 큰 편차를 보였다.

Fig. 3의 전자현미경 사진으로부터 알 수 있듯이 메가소닉파를 이용하여 식각된 면(100)과 면(111)은 메가소닉을 이용하지 않은 상태에서의 식각된

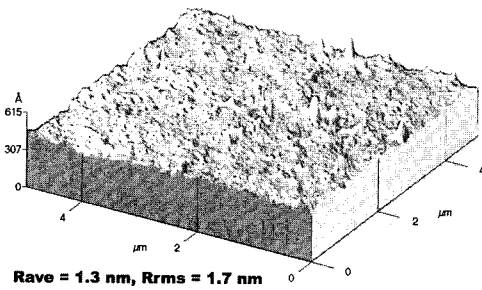


Fig. 4. The AFM image of etched surface with megasonic irradiation.

표면에 비해 표면조도가 매우 좋아 졌다. 이것은 미세 수소 거품 생성과 규산염 생성물에 기인하는 것으로 여겨진다<sup>2-3)</sup>.

Fig. 4는 메가소닉파를 적용시킨 상태에서 37  $\mu\text{m}$  깊이로 식각한 후의 식각된 표면을 49  $\mu\text{m}^2$ 의 면적에서 원자 현미경의 이미지로 표면을 보여준 결과이다. 평균 표면 조도( $R_{ave}$ )와 제곱 평균 표면 조도( $R_{rms}$ )는 각각 1.3 nm, 1.7 nm 이다. 식각된 표면 조도는 미세 거품 발생과 거품의 적절한 제거에 의해 큰 영향을 받는다. 몇몇의 연구자들은 식각 공정에 초음파를 사용하여 표면 조도를 향상시켰다<sup>3-5)</sup>. 그들은 초음파 진동이 수소 거품이 웨이퍼 표면에 잔류하는 것을 최소화하며, 새로운 용액이 웨이퍼 표면에 접근하는 것을 용이하게 하여 표면 조도를 향상시켰다고 발표하였다.

하지만 초음파를 사용할 경우 케비테이션이 용액내에 발생하여 웨이퍼를 손상시키는 결과를 보여왔다는 결점이 있었다. 메가소닉파를 이용하는 경우는 파장의 특성상 케비테이션이 용액내에 거의 형성되지 않는다. 따라서 결론적으로 메가소닉파를 이용한 식각 방법은 웨이퍼의 손상을 줄이면서 식각 표면 조도를 향상시키기에 적합한 방법임을 알 수 있다. 음파 주파수가 증가함에 따라 유체의 흐름 속도가 증가하고 음파 경계층(Boundary layer)의 두께가 감소한다<sup>8-10)</sup>. 메가소닉파에 의한 경계층 두께는 초음파에 의한 경계층 두께보다 얇으므로 웨이퍼 표면에서 발생한 거품들은 더욱 쉽게 분리될 수 있다. 경계층이 얇을수록 식각 공정 동안 발생한 웨이퍼상의 수소 거품 제거가 더욱 효과적이다.

### 3.2 식각 깊이의 선형도

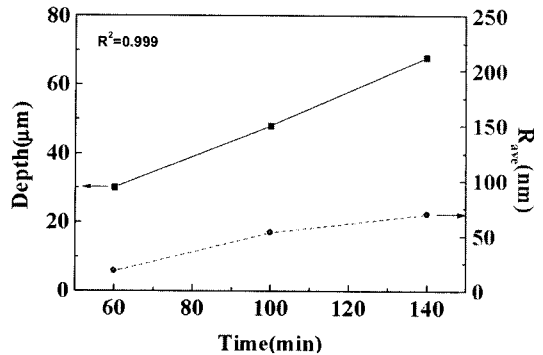


Fig. 5. The time linearity of etching depth and the surface roughness.

Fig. 5는 메가소닉파를 이용한 식각 공정동안 시간 대비 식각 깊이의 관계가 선형으로 나타남을 보여주고 있다. 즉 식각률이 시간에 대해서 일정함을 나타낸다. 따라서 상당히 좋은 선형성을 가지고 있으므로 식각 깊이를 시간으로 제어 할 수 있음을 알 수 있다. 표면 조도는 식각이 진행되면서 서서히 증가함을 알 수 있다.

### 3.3 메가소닉파 에너지 밀도의 효과

Fig. 6은 메가소닉파의 에너지 밀도에 의한 효과를 보여준다. 메가소닉파의 에너지 밀도가 증가함에 따라 실리콘의 식각율은 거의 변화가 없으며, 66°C의 경우와 80°C 경우를 비교해 보면, 온도가 증가함에 따라 식각율의 변화가 크음을 알 수 있다. 본 실험에서 사용한 메가소닉 발생 장치에 있어서 조정할 수 있는 최소 에너지 밀도가 3.0W/cm<sup>2</sup>인데 이 에너지 이상에서는 표면 조도의 향상에는 큰 영향이 없었다. 다시 말하면, 에너지 밀도 3.0W/cm<sup>2</sup> 이상에서는 메가소닉파의 에너지 밀도의 증가에 관계없이 20 nm 미만의 표면 조도를 나타내었다.

그리고 식각 균일도의 경우에서도 에너지 밀도 3.0W/cm<sup>2</sup> 이상에서는 메가소닉파의 에너지 밀도의 증가에 관계없이  $\pm 1\%$ 의 식각 균일도를 보였다.

### 3.4 용액의 온도 효과

Fig. 7은 KOH용액의 온도 변화에 따른 식각율과 1시간 후의 표면 조도의 변화를 도시한 것이다. 이 그래프에서 식각율은 메가소닉파의 유무보다

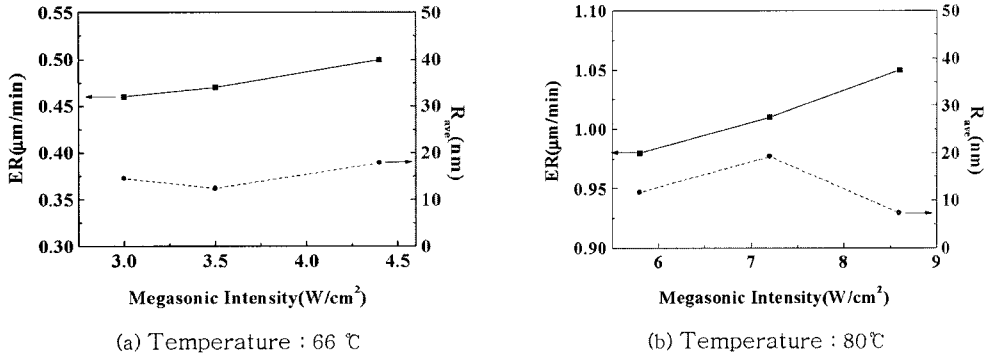


Fig. 6. The effect of intensity of megasonic wave on etching rate and surface roughness.

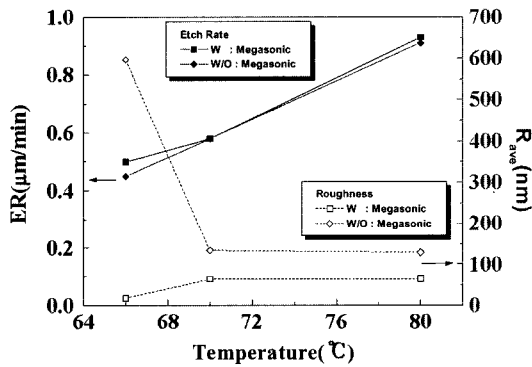


Fig. 7. The effect of temperature of KOH solution on etching rate and surface roughness.

는 온도의 변화에 민감하게 변화함을 알 수 있다. 즉 온도가 증가함에 따라 식각율이 매우 급격히 증가함을 알 수 있다. 그리고 메가소닉을 이용하는 경우에서 식각율이 증가하면 표면 조도가 나빠짐을 알 수 있고 본 실험에서는 66°C에서 최상의 표면 조도를 얻을 수 있다. 그리고 모든 온도에서 메가소닉파를 이용한 경우의 표면 조도가 메가소닉파를 이용하지 않은 상태의 표면 조도보다 우수함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

고 정밀도의 MEMS소자를 제작하기 위해서는 실리콘의 이방성 식각에 있어서 표면 조도의 향상은 필수조건이다. KOH 용액에서 메가소닉파를 이용한 실리콘의 이방성 습식 식각이 실험 되었으며, 6인치 P형 실리콘의 식각 특성은 메가소닉파를 적

용시킨 경우와 적용시키지 않은 경우로 실험 되었다. 메가소닉파는 식각 균일도, 표면조도 등의 식각 특성들을 향상 시키는 것으로 나타났으며, 37 μm 깊이로 식각한 경우 평균 표면 조도가 1.7 nm 임을 실험을 통하여 검증하였다. 식각율은 메가소닉파의 에너지 밀도를 증가 시키는 경우 약간 증가하는 추세에 있기는 하나 온도가 중요한 요소임을 알 수 있었다. 향후연구에서는 메가소닉파의 입사각변화에 따른 효과를 연구하여 복합 웨이퍼를 동시에 처리하게 하기위해 방안이 검토되어야 한다.

#### 후 기

이 논문은 2002학년도 동명정보대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것 입니다.

#### 참고문헌

1. B. Bhushan, X. Li, "Micromechanical and tribological characterization of doped single-crystal silicon and polysilicon films for microelectromechanical systems devices", *J. Material. Res.* Vol. 12, pp. 54-63 (1997).
2. S. A. Campbell, K Cooper, et al., "Inhibition of pyramid formation in the etching of Si p<100> in aqueous potassium hydroxide-isopropanol", *J. of Micromechanics and Microengineering*, Vol 5, pp. 209-218. (1995).
3. Jing Chen, et al., "Study of anisotropic etching of (100) Si with ultrasonic agitation", *Sensors and Actuators A*, Vol 96, pp. 152-156. (2002).

4. T. Baum and D. Schiffrin, "AFM study of surface finish improvement by ultrasound in the anisotropic etching of Si <100> in KOH for micromachining applications", *J. of Micromechanics and Microengineering*, Vol 7, pp. 338-342 (1997).
5. K. Ohwada, Y. Negoro, et al., "Groove depth uniformization in (110) Si anisotropic etching by ultrasonic wave and applications to accelerometer fabrication", *1995 MEMS Proceedings*, pp.100~105 (1995).
6. H. Tanaka, S. Yamashita, et al., "Fast Wet Anisotropic Etching of Si {100} and {110} with a Smooth Surface in Ultra-High Temperature KOH Solutions", *Transducers'03* (June 2003) pp. 939-942.
7. J. Dziuban, "Microwave enhanced fast anisotropic etching of monocrystalline silicon", *Sensors and Actuators A*, Vol 85, pp. 133-138 (2000).
8. A. Busnaina and H. Lin, "Physical Removal of Nano Scale Defects from Surfaces", *2002 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 272-277 (2002).
9. H. Line, et al., "Cleaning of High Aspect Ratio Sub-micron Trenches", *2002 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 304-308 (2002).
10. Ahmed A. Busnaina, H. Lin, and N. Moumen, "Surface Cleaning Mechanisms and Future Cleaning Requirements", *2000 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 328-333 (2002).