

## 레이저를 이용한 미세에칭에 관한 연구

박준민\*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부)

### A Study on the Argon Laser Assisted Thermochemical Micro Etching

J. M. Park(Precision-Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. school, PNU)

#### ABSTRACT

The application of laser direct etching has been discussed, and believed that the process is a very powerful method for micro machining. This study is focused on the micro patterning technology using laser direct etching process with no chemical damage of the material surface. A new introduced concept of energy synergy effect for surface micro machining is the combination of chemically ion reaction and laser thermal process. The etchant can't etch the material in room temperature, and used Ar laser has not power enough to machine. But, the machining is occurred in local area of the material by the combined energy. Using this process, the material is especially prevented from chemical damage for electric property. We have tested this new concept, and achieved a line with 1 $\mu$ m width. The Ar laser with 488nm wavelength was used. The material was Si(100) wafer, and etchant is KOH solution. The application and flexibility of this process is in great hopes for MEMS structures and fabrication of the micro electric device parts.

**Key Words** : laser direct etching(레이저 에칭), Ar laser(아르곤 레이저), energy synergy effect(에너지 상승 효과), combined energy(조합된 에너지)

#### 1. 서론

1960년대 레이저를 발진시킨 이후 현재, 절단, 드릴링 및 용접을 비롯한 산업체, 광학, 의료, 군사등 여러분야에서 획기적인 발전을 이루어왔다. 특히, 반도체 집적 회로와 각종 센서 및 미세가공 등의 집약된 첨단 기술이 요구되는 산업에 있어서 집속된 레이저를 이용한 광화학적 고속 식각에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 이유는 집속된 레이저는 짧은 가공시간으로 마이크로 이하의 정밀도를 얻을 수 있으며, 마이킹 작업이 필요없이 금속, 반도체, 세라믹 등 광부품, 집적 회로, 센서, 마이크로 머신 등에 사용되는 거의 모든 재료의 식각, 증착, 열화학적 반응으로 미세가공이 가능하며, 고속으로 가공할 수 있다는 장점이 있다<sup>1)</sup>. 그러나, 레이저를 이용한 열화학적 반응 식각기술은 원하지 않는 부분의 식각이 수반되는 등의 문제점을 가지게 된다.

이에, 본 연구에서는 재료의 표면에 손상을 발생

시키지 않으면서 레이저와 화학액의 조합을 통해 미세가공이 이루어질 수 있는 새로운 개념을 소개하고자 한다.

이에 대한 개념도는 Fig 1에 나타내었다. 즉, 재료의 표면가공시에 필요한 에너지가 100이라고 하면, 70%~80%정도의 에너지는 화학적 활성화를 위해 필요하고, 나머지 부분은 레이저를 이용하여 재료를 가공하게 된다. 이렇게 에너지를 선택적으로 얻음으로써, 화학액에 의한 에칭의 영향과 과다한 레이저의 출력으로 인한 재료의 손상을 방지할 수 있다. 본 실험에서는 아르곤 이온 레이저를 이용한 단결정 실리콘의 식각특성을 분석하기 위해 사용된 화학액인 KOH 수용액이며, 화학액의 희석비와 pH값에 따른 영향을 분석하였으며, 표면에 대한 평가는 SEM(Scanning Electronic Microscope)과 EDX분석을 실시하였다.

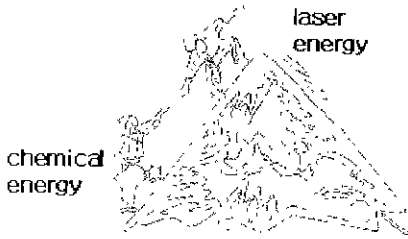


Fig. 1 Concept of energy synergy effect

## 2. 본론

### 2.1 메카니즘

레이저 에칭의 메카니즘은 승화(ablation), 열적 가공(thermal), 기상 또는 액상 식각(gas/liquid-phase photo chemical) 및 캐리어-드리븐 에칭(carrier-driven etching) 등의 네가지로 나누어질 수 있으며<sup>2)</sup>, 본 연구에서는 파워가 낮은 레이저와 화학액을 이용한 열화학적가공법에 의해 실리콘 웨이퍼를 에너지 상승효과에 의해 미세가공을 실현하게 된다.

열화학적 반응은 화학적 반응 성분을 가진 수용액의 분위기에 레이저의 집속된 광이 재료를 국부적으로 가열하게 되며, 이 때, 반응은 (A)온도구배에 의한 화학반응성분의 확산, (B)열적 분위기 내에서의 전리, (C)에칭반응, (D)반응생성물의 제거 등의 순차적 과정으로 통하여 일어나게 되며, 대표적인 Si기판의 열화학적 반응 모식도를 Fig. 2에 나타내었다<sup>3)</sup>. 일반적으로 에칭은 등방적으로 식각작용이 일어나는데, 에너지 상승효과를 이용한 열화학적 반응에서는 실리콘 웨이퍼 표면에 대해 등방적 에칭의 선택비를 높일 수 있으며, 가공이 집속된 광에 의해 재료표면에서 국부적으로 일어나기 때문에, 특히 전기적 성질을 중요시하는 재료에는 화학적 에칭으로 인한 악영향을 극소화 할 수 있다.

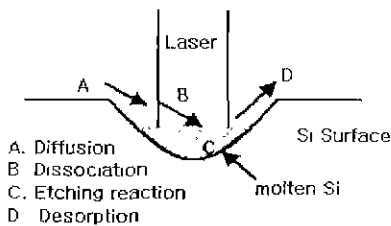


Fig. 2 Mechanism of laser thermal etching reaction

### 2.2 실험장치

본 연구에서는 레이저 열화학적 반응을 실험하기 위한 간단한 구조의 실험장치는 Fig.3과 같이 488nm 파장의 Ar이온 레이저, 1개의 거울, 10배율의 대물렌즈(objective lens), 유리덮개 및 X-Y 스테이지로 구성되었으며, 재료의 표면과 유리덮개 사이에 재료와 반응하게 될 화학액이 존재하는 구조이며, 대물렌즈의 개구수(numerical aperture)와 초점길이는 0.25, 16.5mm이고, 상하로 움직일 수 있는 구조로 초점을 맞추게 된다.

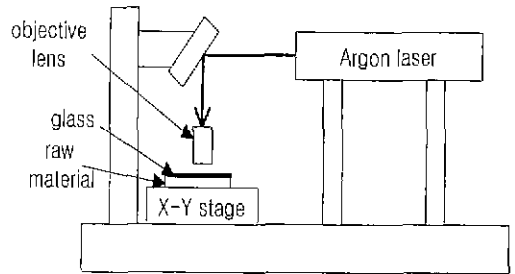


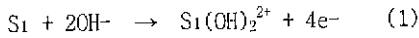
Fig. 3 Experimental set-up

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 화학적 특성

본 실험에 있어서 중요한 인자로서 실리콘 웨이퍼가 KOH수용액에 에칭이 일어나기 시작하는 조건과 일어나지 않는 경계 조건을 찾는 것이다.

실리콘 웨이퍼 표면에서의 화학적 특성을 파악하기 위해 Table 1에 나타낸 바와 같이, 희석비 5wt%의 KOH 수용액으로 pH값에 대한 영향을 파악하기 위해 pH8~pH12의 다섯단계로 나누어 실험을 수행하였다. Fig.4는 KOH 수용액이 실온상에서는 에칭이 일어나지 않으며, 60°C 이상의 온도에서는 etch rate가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다<sup>4)</sup>. 이러한 이유로, 본 실험에서는 KOH수용액에 대한 에칭의 경계조건실험을 위해 온도 60°C의 분위기에서 5wt%, 10wt%, 15wt%, 20wt%의 농도비와 pH값 8~12사이의 값으로 실험을 수행하여, 농도비와 pH값이 (110)실리콘 웨이퍼의 KOH에칭에 미치는 영향을 etch rate로 비교 분석하였다. 재료와 화학액 사이에서의 화학반응식은 식(1)에 나타낸 바와 같이, (110)실리콘 웨이퍼는 KOH수용액 속에서 반응하면서 4e-를 발생시키게 되고, 이 때 4e-가 다시 물과 반응해서 또 다른 OH-를 만들면서 식각이 이루어진다.



실험상에서 적용된 공정변수인 KOH 수용액의 희석비와 pH값에 대한 분석을 위해 온도 분위기 60°C에서 1시간 에칭하여 실리콘 웨이퍼의 etch rate를 분석한 결과, pH값에 따른 희석비의 변화에는 etch rate의 변화가 관찰되지 않았고, 희석비 5wt%에 대한 식각량의 변화를 Fig. 5에 비교하여 나타내었다. KOH 수용액의 염기성분이 증가할수록 식각량이 증가함을 알 수 있다. pH값 8에서 식각된 양은 0.984( $\mu\text{m}/\text{min}$ )이고, pH값 12에서는 1.060( $\mu\text{m}/\text{min}$ )으로 식각 정도 차이를 나타내고 있다. 이는, KOH 수용액 내에서 실리콘 웨이퍼가 OH-기를 발생시키면서 식각작용이 이루어지는데, OH-기의 생성에 pH값이 영향을 미쳤기 때문이다.

Table 1 Experimental conditions

material	(110)Si wafer
etchant	KOH solution
pH	8, 9, 10, 11, 12
dilution rate(wt%)	5, 10, 15, 20
etching time	60 min
temperature	60°C
laser power[mW]	200 ~ 250

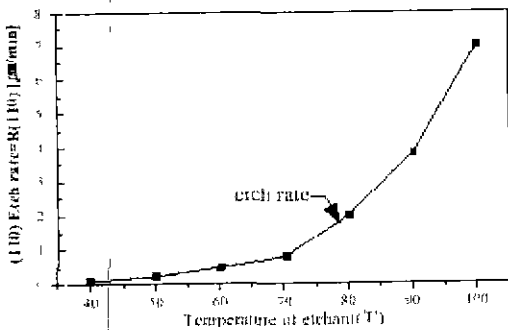


Fig. 4 Etch rate of the (110)Si anisotropic etching in KOH

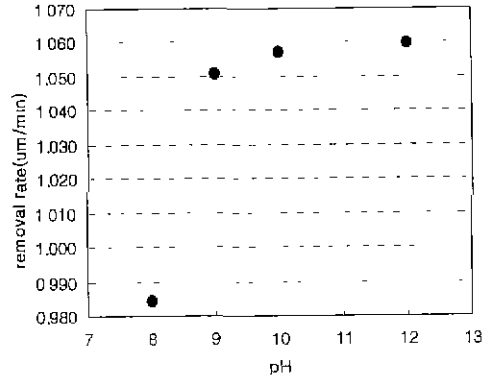


Fig. 5 Comparison of removal rate as pH value change in KOH

### 3.2 레이저 주사 특성

레이저 주사 특성을 파악하기 위해, 본 실험에서는 25mW ~ 250mW의 레이저 출력 범위를 갖는 Ar이온 레이저로서, 비교적 낮은 영역에서의 파워를 가지면서 대물렌즈를 통하여 재료의 표면에 집속된다. 시간 t에 따른 레이저의 주사량과 온도상승의 특성을 파악하기 위해 3차원 열전도 방정식을 적용하였다<sup>4)</sup> 식 (2)에서 K(T)와 D(T)는 열전도도(thermal conductivity)와 열확산도(thermal diffusivity)를 각각 나타내며, 이를 실험치에 의해 식 (3)과 같이 열전도도와 열확산도, 반사율 및 온도 의존성을 고려한 열전도 방정식의 적분해가 나온다<sup>5)</sup>. 실리콘 표면에 레이저 주사시 그 반사율은 녹는점 부근에서 약 0.44이며, 레이저 주사에 따른 실리콘 웨이퍼의 온도 상승 특성은 레이저 출력에 비례하고, 초점반경에는 반비례한다. Fig. 5에 나타난 바와 같이, 실리콘은 0.24W정도의 레이저 출력에서 녹는 온도에 도달하게 된다.

$$\frac{K(T)}{D(T)} \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot [K(T) \nabla T] = Q(x, y, z, t) \quad (2)$$

$$f(u) = \frac{e^{-\frac{((y/r)^2 + \frac{kr^2}{4D(T)})^2}{u^2} - \frac{(y/r)^2}{u^2+1} - \frac{(z/r)^2}{u^2}}}{u^2 + 1} \quad (3)$$

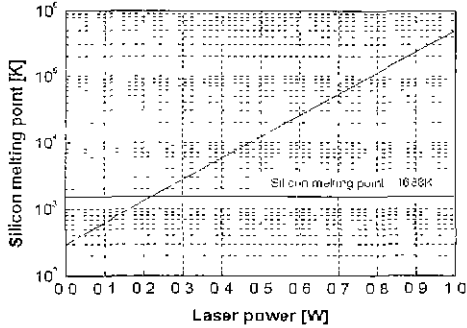


Fig 6 Variation of the silicon wafer temperature by laser power

### 3.3 열화학적 반응

실리콘 웨이퍼 표면을 화학적으로 활성화시키고, laser를 주사한 광화학적 반응실험은 Table 2의 조건으로 실험을 수행하였다. 화학적 특성의 분석 결과, 에칭의 경계조건으로는 KOH수용액을 pH값 8과 희석비 5wt%로 하였으며, laser 출력은 200mW로 하여 실온분위기에서 실시하였으며, 그 결과 약 1 $\mu$ m 선폭을 가지는 1차원 가공을 통하여 광화학적 반응을 검증하였으며, SEM사진 촬영을 하였다(Fig. 7)

chemical	type	KOH solution
	dilution (wt%)	5
	pH value	8
laser	power	200mW
material	(110)Si wafer	
temperature	room temperature	

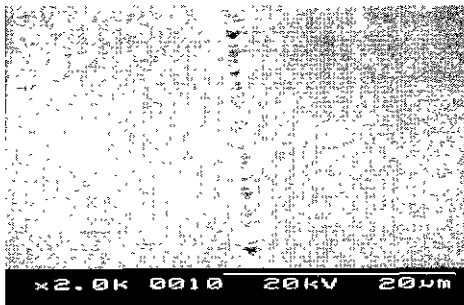


Fig 7 SEM image of laser-induced etching ( KOH 5wt%, pH 8, room temperature laser power : 200mW )

### 4. 결론 및 고찰

본 실험에서는 집속된 아르곤 이온 레이저를 KOH 수용액 분위기 내에서 에너지 상승효과(energy synergy effect)의 개념을 도입하여 (110)실리콘 웨이퍼를 식각하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 에너지 상승효과에 의한 레이저 식각은 재료표면에 화학액에 대한 영향없이 재료를 선택적으로 가공할 수 있었으며, 이는 EDX표면 분석을 통해 알 수 있었다

2. pH값에 대한 식각량을 분석한 결과, 염기성분이 많은 영역(pH값이 높은 영역)일수록 식각량이 높음을 알 수 있었고, 이는 OH-기의 생성에 비례하여 식각량을 증가시킨 것으로 사료된다.

3. 레이저 주사의 실험에 있어서 주사시간에 따른 특성의 분석이 향후 좀 더 연구가 되어야 될 것으로 판단된다.

이상의 실험결과를 근거로 하여, 에너지 상승 효과를 이용한 레이저 에칭은 재료표면에 화학적인 손상없이 극부적으로 가공이 이루어지게 된다. 특히, 재료의 전기적 특성을 중요시 여기는 반도체 부품(semiconduct device parts)나 MEMS구조물의 제작시에 마스크리스(maskless)공정에 적용이 가능하며, 기존의 실리콘 웨이퍼에 한정되었던 재료의 한계성을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 정재훈,이천,박정호, "집속 아르곤 레이저 빔을 이용한 실리콘 기판의 식각," 전기학회논문지, 48C권, 4호, pp261-268, 1999
2. John L. Vossen, Werner Kern. " Thin Film Process II," ACADEMIC PRESS, pp783-865, 1991
3. Hyung-Taek Lim, Yong-Kweon Kim, " Novel Fabrication of Comb Drive Actuator Using RIE of Polysilicon and (110) Si Anisotropic Bulk Etching in KOH", SPIE. Microfab. & Microtech. Vol. 1511, pp. 183-190,1998.
4. H. S Carslaw and T. C. Jaeger. *Conduction of Heat in Solids*, 2nd Ed, Oxford University, New York, 1959.
5. 이현기, 한승오, 박정호, 이천, "MEMS 응용을 위한 Ar+ 이온 레이저에 의한 단결정/다결정 실리콘 식각 특성," 전기학회논문지, 48C권, 5호, pp396-401, 1999