

MEMS 응용을 위한 Ar⁺ 이온 레이저에 의한 단결정/다결정 실리콘 식각 특성

論 文
48C-5-20

Characteristics of single/poly crystalline silicon etching by Ar⁺ ion laser for MEMS applications

李賢基^{*} · 韓承岍^{**} · 朴政浩^{***} · 李天[§]
(Hyun Ki Lee^{*} · Seungoh Han^{**} · Jungho Pak^{***} · Cheon Lee[§])

Abstract - In this study, Ar⁺ ion laser etching process of single/poly-crystalline Si with CCl₂F₂ gas is investigated for MEMS applications. In general, laser direct etching process is useful in microelectronic process, fabrication of micro sensors and actuators, rapid prototyping, and complementary processing because of the advantages of 3D micromachining, local etching/deposition process, and maskless process with high resolution. In this study, a pyrolytic method, in which CCl₂F₂ gas etches molten Si by the focused laser, was used. In order to analyze the temperature profile of Si by the focused laser, the 3D heat conduction equation was analytically solved. In order to investigate the process parameters dependence of etching characteristics, laser power, CCl₂F₂ gas pressure, and scanning speed were varied and the experimental results were observed by SEM. The aspect ratio was measured in multiple scanning and the simple 3D structure was fabricated. In addition, the etching characteristics of 6 μm thick poly-crystalline Si on the insulator was investigated to obtain flat bottom and vertical side wall for MEMS applications.

Key Words : MEMS, 3D micromachining, Laser direct etching, Silicon

1. 서 론

1960년대에 개발된 이래로, 레이저 가공 기술은 초기에는 주로 절단, 드릴링, 용접 등에 이용되었다. 하지만 단 시간에 원하는 양의 에너지를 마이크로 이하의 정밀도로 재료에 전달할 수 있는 장점으로 인해 레이저 가공 기술의 응용 범위는 최근 다양한 재료의 식각, 증착, 열화학적 변형 등의 미세 가공 분야로 꾸준히 넓어지고 있다[1-3]. 레이저를 이용한 실리콘 식각 기술은 기존의 반도체 공정과는 달리 마스크 없이 국부적인 가공이 가능하고, RIE(Reactive Ion Etch) 공정에서 발생하는 활성화된 이온이나 전자에 의한 손상이 없으며, 높은 형상비의 구조를 얻을 수 있는 장점이 있다[4]. 또한 미세 구조 형성에 널리 쓰이는 표면 마이크로머시닝 기술이 2차원 가공에 머무는 반면, 레이저 가공기술은 3차원 가공이 가능하여 다양한 입체 구조의 제작에 응용이 가능하다[2].

본 연구에서는 MEMS 응용을 위한 Ar⁺ 이온 레이저를 이용한 단결정/다결정 실리콘의 식각 특성을 분석하였다. 우선 단결정 실리콘 식각특성으로서 레이저 출력, 반응가스 압력, 주사속도 등의 공정변수 의존성, 높은 형상비를 얻기 위한 다중주사방식에 의한 식각 및 3차원 구조 형성을 위한 기초 실험 등에 대한 실험 결과를 분석하였다. 수직벽과 평평한 바닥면을 가진 트렌치를 얻기 위한 다결정 실리콘의 식각 특성 등을 파악하였으며, 이론적 고찰로서 3차원 열전도 방정식의 해를 구해 레이저에 의한 실리콘의 온도 상승 특성을 분석하였다.

2. 식각 반응 메카니즘

CCl₂F₂ 분위기에서 514 nm 파장의 Ar⁺ 이온 레이저에 의한 실리콘 식각은 Ar⁺ 이온 레이저에 의해 국부적으로 녹은 실리콘이 반응가스 CCl₂F₂에서 분해, 여기된 Cl^{*} 라디칼(radical)과 SiCl_x의 휘발성 반응생성물을 만드는 열적 방식을 통해 이루어진다. 식각 반응에 사용된 Ar⁺ 이온 레이저는 반응가스를 투과하고 실리콘 표면에 집속되어 국부적으로 실리콘을 열적으로 용융하여 활성화시키는 역할을 한다. 그림 1과 같이 주입된 CCl₂F₂ 가스는 실리콘 표면과 표면 위의 농도 차에 의해 실리콘 표면으로 확산되고(A), 기판에 집속된 레이저의 열에너지에 의해 분해, 여기되어 Cl^{*} 라디칼을 생성한다(B). 생성된 Cl^{*} 라디칼은 집속된 레이저에 의해 녹은 실리콘과 반응하여 휘발성의 생성물을 만드는데(C), 반응생성물이 반응 영역에서 표면 위로 분리됨으로써 식각이 완료된다(D).

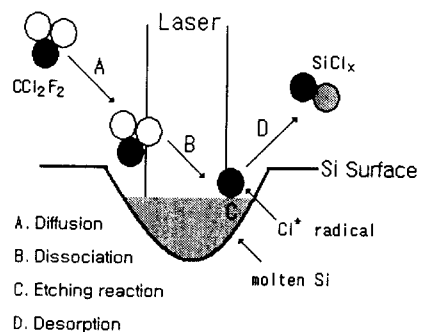


그림 1. 레이저 식각 반응 메카니즘
Fig. 1 Mechanism of laser etching reaction

* 准會員 : 高麗大 大學院 電氣工學科 碩士 卒業

** 正會員 : 高麗大 大學院 電氣工學科 博士課程

*** 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

§ 正會員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受 日字 : 1999 年 1 月 25 日

最終 完了 : 1999 年 4 月 1 日

3. 레이저에 의한 실리콘의 온도 상승 특성

시간 t 에 따라 레이저에 의해 변화하는 실리콘의 온도 T 의 상승 특성을 파악하기 위하여 입사 레이저 빔에 수직인 x - y 평면과 깊이 z 로 정의되는 반응영역에 대해 3차원 열전도 방정식을 적용하였다[5].

$$\frac{K(T)}{D(T)} \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot [K(T)\nabla T] = Q(x, y, z, t) \quad (1)$$

식(1)의 우변 $Q(x, y, z, t)$ 는 반응영역에서 레이저에 의해 생성된 열에너지를 나타내며, 좌변의 첫 항과 두 번째 항은 각각 반응영역에 축적된 에너지와 방출된 에너지를 나타낸다. $K(T)$ 와 $D(T)$ 는 열전도도(thermal conductivity)와 열확산도(thermal diffusivity)를 나타내고, 실험치에 의해 식(2), (3) 과 같이 쓸 수 있다[6].

$$K(T) = \frac{299}{T-99} \quad (2)$$

$$D(T) = \frac{128}{T-159} \quad (3)$$

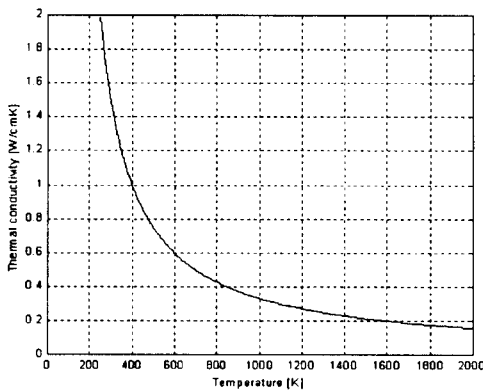


그림 2. 열전도도의 온도 의존성

Fig. 2 Temperature dependence of thermal conductivity

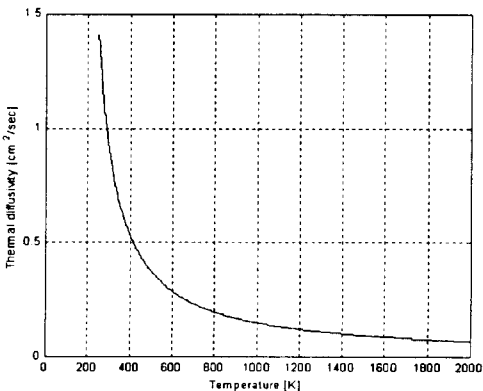


그림 3. 열확산도의 온도 의존성

Fig. 3 Temperature dependence of thermal diffusivity

그림 2에서 열전도도는 상온(300K)에서 1.48 W/cmK 이며 온도 증가에 따라 감소하여 실리콘의 녹는점인 1688K 에서 0.19 W/cmK 을 나타낸다. 그림 3은 온도에 따른 열확산도를 보여주는 것으로 상온에서 0.97 cm²/s 이고 온도 증가에 따라 감소하여 실리콘의 녹는점에서 0.084 cm²/s 를 나타낸다.

레이저에서의 에너지 분포는 식(4)와 같은 가우스 분포를 나타낸다[6].

$$Q(x, y, z) = \frac{P}{\pi r^2} [1 - R(T)] \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{r^2}\right) \delta(z) \quad (4)$$

위의 식에서 P 와 r 은 각각 레이저 출력과 초점 반경 (spot radius) 이며 $\delta(z)$ 는 레이저가 실리콘 표면에서만 흡수된다는 것을 나타낸다. 온도 의존성을 갖는 반사율 $R(T)$ 는 실험치에 의해 식(5)와 같이 쓸 수 있다[6].

$$R(T) = 0.367 + 4.29 \times 10^{-5} T \quad (5)$$

그림 4는 온도에 따른 실리콘의 반사율 변화를 나타낸 것으로 상온에서 0.38이고 온도 증가에 따라 증가하여 녹는점에서는 0.44를 나타낸다.

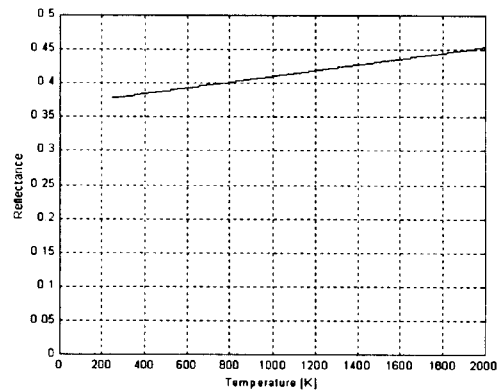


그림 4. 반사율의 온도 의존성

Fig. 4 Temperature dependence of reflectance

식(2), (3) 및 (5)로 주어지는 열전도도와 열확산도, 반사율 등의 온도 의존성을 고려한 식(1)의 3차원 열전도 방정식의 해는 식(6)과 같다.

$$T(x, y, z) = 99 + 201 e^{-\frac{P(1-R(T))}{300 \pi^{3/2} r} \int_0^\infty f(u) du} \quad (6)$$

$$f(u) = \frac{e^{-\left(\frac{(x/r)^2 + \frac{y/r u^2}{4D(T)}}{u^2}\right)^2 - \frac{(y/r)^2}{u^2+1} - \frac{(z/r)^2}{u^2}}}{u^2+1} \quad (7)$$

즉, 반응영역의 온도 T 는 주사속도 v 에 따라 서로 다른 값을 갖는 식(7)을 임의의 적분변수 u 에 대해 식(6)의 지수항과 같이 적분함으로써 얻어진다. 식(6)을 통해 실리콘의 온도는 레이저 출력에 비례하고 초점 반경에 반비례하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 주사속도가 10 μ m/sec 인 경우 $x=y=z=0$ 에서

의 최대 상승온도를 레이저 출력에 대해 나타낸 것으로, 레이저 출력 0.25 W에서 실리콘이 녹는 온도에 도달한다.

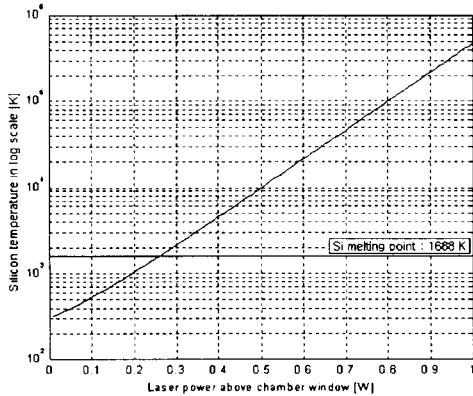


그림 5. 레이저 출력에 따른 실리콘의 온도 변화
($v = 10 \mu\text{m}/\text{sec}$, $x=y=z=0$)

Fig. 5 Variation of the silicon temperature as a function of laser power ($v = 10 \mu\text{m}/\text{sec}$, $x=y=z=0$)

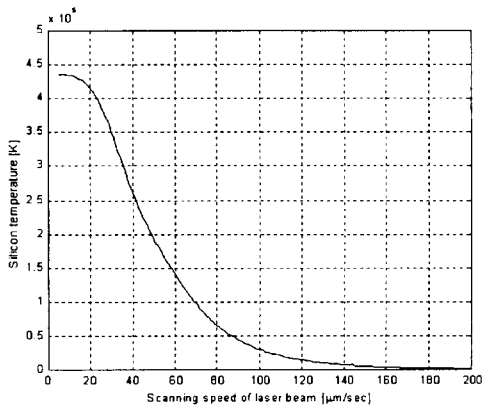


그림 6. 주사속도에 따른 실리콘의 온도 변화
($P = 1 \text{ W}$, $t = 4 \text{ msec}$, $x=y=z=0$)

Fig. 6 Variation of the silicon temperature as a function of scanning speed ($P = 1 \text{ W}$, $t = 4 \text{ msec}$, $x=y=z=0$)

그림 6은 레이저 출력이 1 W일 때, 레이저 빔을 주사하기 시작한 후 4 msec 후의 $x=y=z=0$ 에서의 실리콘 기판 온도를 나타낸 것으로 주사속도가 증가함에 따라 실리콘 기판에서의 온도가 유지되지 못하고 감소함을 알 수 있다.

4. 단결정/다결정 실리콘 식각 실험과 결과

4.1 레이저 식각 장비

본 실험에 사용된 레이저 식각 장비는 그림 7과 같이 514 nm 파장의 Ar⁺ 이온 레이저, 3개의 거울 및 50배율의 대물 렌즈, 스테인리스-스틸 진공 반응로, PC 제어기와 연결된 X/Y/Z 스테이지, 밸브와 게이지 시스템 등으로 구성되었다. Ar⁺ 이온 레

이저 빔은 빔 서터와 3개의 거울, 대물 렌즈, 창(window)을 통해 진공 반응로 내의 실리콘 시편에 집속된다. 대물 렌즈의 개구수(numerical aperture)와 초점 거리는 각각 0.5, 10.6 mm이며, 집속된 레이저 빔의 초점 반경과 초점 심도(depth of focus)는 각각 0.6 μm와 0.7 μm이다. 레이저 빔의 주사를 위해 진공 반응로를 PC 제어기와 연결된 X/Y 직류 모터 스테이지로 이동시키고, Z 스테이지로 빔의 초점을 맞추었다. 스테이지의 최대 이동거리는 25 mm이고, 최대 이동속도와 분해능은 각각 200 μm/s와 1 μm이다. 로터리 펌프를 이용해 진공 반응로 내의 잔류가스와 반응 부산물을 배기하고, 주입되는 반응가스의 양은 밸브와 게이지 시스템으로 조절하였다.

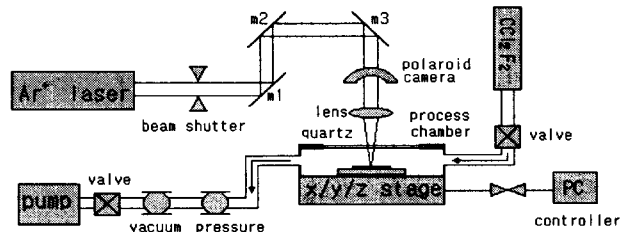


그림 7. Ar⁺ 이온 레이저 식각 장비의 개념도

Fig. 7 A schematic diagram of Ar⁺ ion laser etching system

4.2 단결정 실리콘 식각의 공정변수 의존성

첫 번째 공정 변수로서 레이저 출력 의존성을 파악하기 위해 반응가스 압력 450 mbar, 주사속도를 10 μm/s로 고정시키고 레이저 출력을 변화시켰다. 실험결과는 그림 8과 같이 0.45 W에서 식각이 일어나기 시작하여 레이저 출력이 증가함에 따라 식각깊이가 증가하였다. 이것은 실리콘이 녹는 온도 이하가 되면 반응가스와 식각반응을 일으키지 못하고, 임계값 이상에서 레이저 출력이 증가함에 따라 반응영역에서의 실리콘의 온도상승으로 녹는 실리콘의 양과 Cl^{*} 라디칼이 증가하기 때문이다.

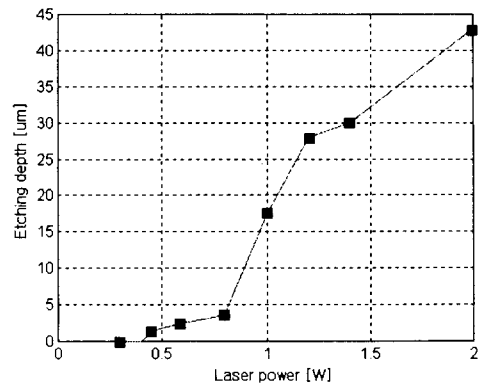


그림 8. 식각깊이의 레이저 출력 의존성
(반응가스 압력 450 mbar, 주사속도 10 μm/s)

Fig. 8 Dependency of etching depth on laser power
(reaction-gas pressure 450 mbar, scanning speed 10 μm/s)

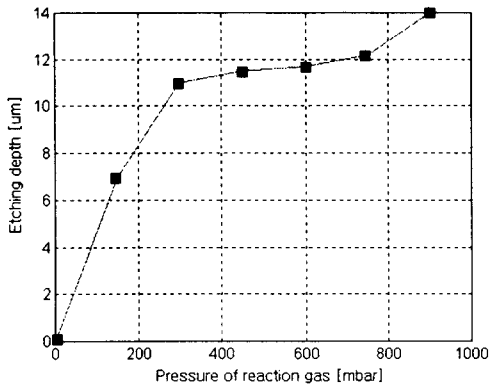


그림 9. 식각깊이의 반응가스압력 의존성
(레이저 출력 1 W, 주사속도 10 μm/s)

Fig. 9 Dependency of etching depth on reaction-gas pressure
(laser power 1 W, scanning speed 10 μm/s)

두 번째 공정 변수로서 반응가스 압력 의존성을 파악하기 위하여 레이저 출력 1 W, 주사속도 10 μm/s에서 반응가스 압력을 변화시켰다. 실험결과는 그림 9와 같이 300 mbar 이하에서는 식각 깊이가 급격히 증가했지만, 300 mbar 이상에서는 완만히 증가했다. 이것은 반응가스 압력의 증가에 따라 표면에 흡착하여 생성되는 Cl* 라디칼이 증가하여 식각깊이도 증가하지만, 압력이 더욱 증가하면 가스 분자의 충돌에 의해 확산계수가 감소하여 반응영역에서의 Cl* 라디칼의 증가율이 감소하기 때문이다.

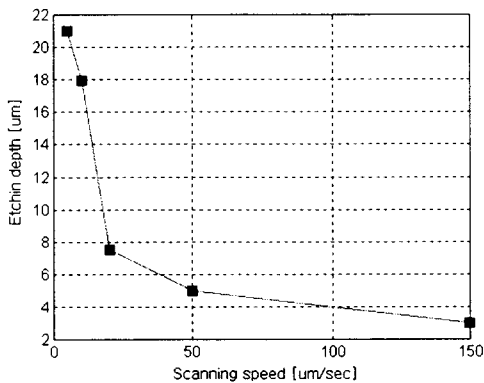


그림 10. 식각깊이의 주사속도 의존성
(레이저 출력 1 W, 반응가스 압력 450 mbar)

Fig. 10 Dependency of etching depth on scanning speed
(laser power 1 W, reaction-gas pressure 450 mbar)

세 번째 공정변수로서 주사속도 의존성을 파악하기 위하여 레이저 출력과 반응가스압력을 각각 1 W와 450 mbar로 고정시키고, 주사속도를 5, 10, 20, 50, 150 μm/s로 변화시켰다. 실험결과는 그림 10과 같이 주사속도가 증가할수록 식각깊이가 감소함을 나타내었다. 이것은 주사속도가 증가할수록 레이저의 잔류시간이 감소하고 그에 따라 녹는 실리콘의 양이 감소하여 식각반응이 활성화되지 못하기 때문이다.

공정변수 의존성 실험결과와 3차원 열전도 방정식을 풀 이 이론적 결과를 비교하면, 실험 결과에서 레이저 출력 증가와 주

사속도 감소에 따라 식각깊이(온도)가 증가하는 경향은 이론적 결과와 일치하였다. 하지만 식각이 시작되는 임계 출력이 실험 결과에서는 0.45 W가 나왔으나, 이론적 결과에서는 0.25 W로 계산되었으며, 이것은 초점을 맞추는 과정에서의 오차에 의한 초점 반경의 차이와 창에서의 손실 등에 기인하는 것으로 파악 된다.

4.3 다중주사방식에 의한 단결정 실리콘 식각 특성

높은 형상비의 트랜치를 얻기 위하여, 다중주사방식 (multiple scanning)에서 주사 회수 변화에 따라 실리콘 기판 표면에서의 트랜치 폭(그림 11 (a)의 β)과 최대 식각깊이(그림 11 (a)의 d)의 비로 계산되는 형상비(d/β) 변화를 관찰하였다. 실험조건은 레이저 출력과 반응가스압력, 주사속도를 각각 1 W, 450 mbar, 50 μm/s로 고정시키고, 주사 회수를 1, 2, 3, 4회로 변화시켰다. 실험결과는 그림 11과 같이 주사회수를 증가할수록 형상비가 증가했으며, 4번 주사했을 때 4.1의 형상비를 나타내었다.

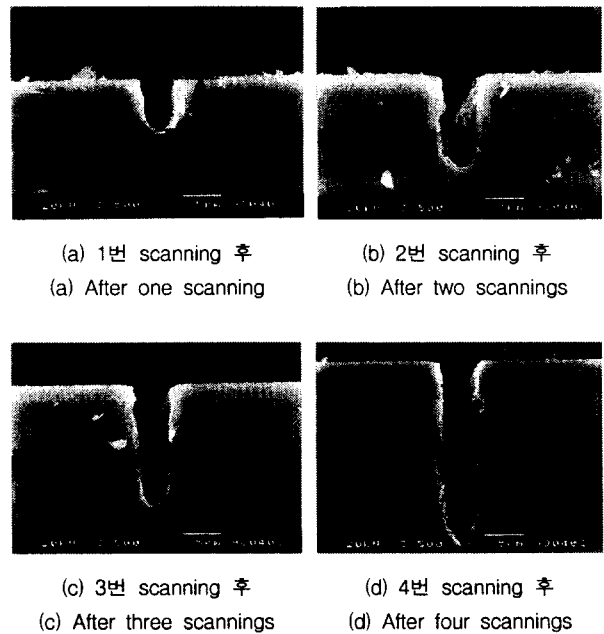


그림 11. 다중주사방식에 의한 식각 특성
(레이저 출력 1 W, 반응가스 압력 450 mbar, 주사속도 50 μm/s)
Fig. 11 Etching characteristics from multiple scanning
(laser power 1 W, reaction-gas pressure 450 mbar, scanning speed 50 μm/s)

4.4 단결정 실리콘을 이용한 3차원 구조 형성을 위한 기초 실험

현재 미세구조 제작을 위해 널리 쓰이는 표면 마이크로머시닝 기술은 2차원 가공 기술로서 3차원 구조 형성에 적합하지 않기 때문에, 이것의 대안으로서 레이저를 이용한 3차원 구조 형성을 시도하였다. 3차원 구조 형성을 위한 기초 실험으로서

단순한 계단형 구조를 만들었으며, 공정 조건은 레이저 출력 0.8 W, 반응가스압력 450 mbar, 주사 속도 200 μm/s 이다. 그림 12는 제작된 단순한 계단형 구조를 보여주는데, 바깥쪽 사각형의 식각폭과 식각깊이는 각각 42 μm, 3 μm 이며, 안쪽 사각형의 식각폭과 식각깊이는 각각 9 μm, 7 μm 이다.

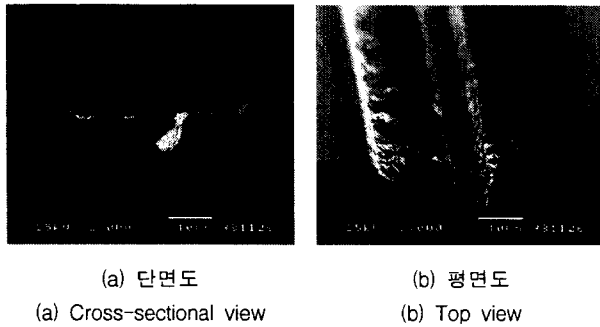
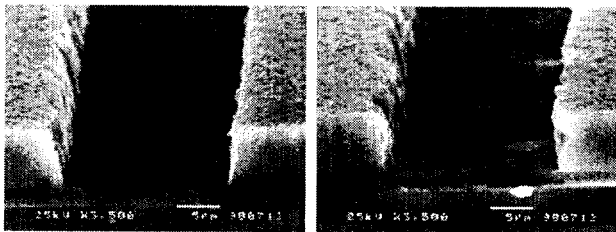


그림 12. 레이저 식각을 이용하여 구현한 단순한 3차원 구조에 (레이저 출력 0.8 W, 반응가스 압력 450 mbar, 주사속도 200 μm/s)
 Fig. 12 A simple 3-D structure fabricated by laser etching (laser power 0.8 W, reaction-gas pressure 450 mbar, scanning speed 200 μm/s)

4.5 다결정 실리콘 식각 특성



(a) 주사속도 : 200 μm/s
 (a) Scanning speed : 200 μm/s



(b) 주사속도 : 150 μm/s (c) 주사속도 : 100 μm/s
 (b) Scanning speed : 150 μm/s (c) Scanning speed : 100 μm/s

그림 13. 세 가지 주사속도에서의 6 μm 두께의 다결정 실리콘 식각 특성 (레이저 출력 0.8 W, 반응가스 압력 450 mbar)
 Fig. 13 6 μm thick polysilicon etching characteristics at three different scanning speeds (laser power 0.8 W, reaction-gas pressure 450 mbar)

MEMS 구조에 응용 가능한 평평한 바닥면과 수직 측벽을 갖는 트렌치를 얻기 위해 절연층 위에 증착된 6 μm 다결정 실리콘을 식각하여 바닥면과 측벽을 관찰하였다. 실험조건은 레이저 출력 0.8 W, 반응가스압력 450 mbar 에서 주사속도를 100, 150, 200 μm/s 로 변화시키고 주사 간격 2 μm 에서 2회 다중주사 하였다.

실험 결과 그림 13과 같이 주사속도 100, 150, 200 μm/s 에서 모두 평평한 바닥면과 수직 측벽을 가진 근사적인 사각형의 트렌치가 제작되었으며 이 결과로부터 레이저를 이용한 식각이 다결정 실리콘 구조물을 사용하는 MEMS 응용에 적합함을 알 수 있다. 주사속도 200 μm/s, 100 μm/s 에서 식각한 트렌치의 식각 폭은 각각 22.61 μm, 22.6 μm 이고, 150 μm/s 에서 식각한 트렌치의 식각폭은 21.6 μm 로서 약간의 차이가 나고 있는데, 이는 주사하는 영역을 변경하며 주사속도를 변경할 때 레이저 빔의 초점을 새로 조정하는 과정에서 생기는 초점 오차에 기인하는 것으로 판단된다. 그리고 200 μm/s, 100 μm/s 에서 식각한 트렌치의 바닥면에는 절연층의 일부가 레이저에 의해 녹았다가 재응고된 흔적이 남아있다.

5. 결 론

MEMS 응용을 위한 Ar⁺ 이온 레이저에 의한 단결정/다결정 실리콘 식각 특성을 분석하였다. 우선 이론적 고찰로서 3차원 열전도 방정식을 풀어 레이저 출력 변화에 따른 실리콘 표면에서의 최대 상승 온도와 x 축에서의 온도 분포를 파악하였다. 단결정 실리콘 식각의 공정변수 의존성 실험을 통해 레이저 출력과 반응가스 압력을 증가시키에 따라 식각깊이가 증가하고, 주사속도 증가에 따라 감소하는 경향을 파악했다. 실험 결과와 이론적인 결과의 비교를 통해 식각 깊이(온도)가 레이저 출력에 비례하고 주사속도에 반비례하는 경향이 일치하는 것을 확인하였다. 그러나 실리콘이 녹기 식각하는 임계출력이 실험결과에서는 0.45 W 로 측정되었으나 이론적인 결과에서는 0.25 W 로 계산되어 오차를 나타내었으며, 이 오차의 원인으로는 초점 오차에 의한 초점 반경의 차이와 창 등에서의 손실 등으로 파악된다. 다중주사방식에 의한 식각 특성으로 주사회수의 증가에 따라 형상비가 증가하는 것을 알았으며, 4회 주사하여 4.1의 형상비를 얻었다. 3차원 가공을 위한 기초 실험으로서, 바깥쪽 사각형의 식각폭과 식각깊이가 각각 42 μm, 3 μm 이고 안쪽 사각형의 식각폭과 식각깊이가 각각 9 μm, 7 μm 인 단순한 계단형 모양의 구조를 제작하였다. 절연층 위에 증착한 6 μm 두께의 다결정 실리콘을 레이저 출력 0.8 W, 반응가스압력 450 mbar, 주사속도 100, 150, 200 μm/s, 주사 간격 2 μm 에서 다중주사방식으로 식각하여, MEMS에 응용 가능한 평평한 바닥면과 수직 측벽을 가진 근사적인 사각형의 트렌치를 얻었다.

이상의 연구를 통해 레이저를 이용한 실리콘 식각이 미세 가공기술로서 적합하기 때문에 MEMS 분야에서 밸브가 없는 마이크로 펌프의 확산기와 노즐, 그리고 광 소자에서의 비구형 렌즈와 도파관 등의 제작에 응용 가능성을 확인하였다.

이 논문은 1995년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원(지원번호: 01-E-0535)되었음

참 고 문 헌

- [1] M. Millenborn, H. Dirac and J. W. Petersen, "Silicon nanostructures produced by laser direct etching," Appl. Phys. Lett., Vol. 66, No. 22, pp. 3001-3003, 1995.
- [2] Haruo Okano, Yasuhiro Horiike, and Makoto Sekine, "Photo-Excited Etching of Poly-crystalline and Single-crystalline Silicon in Cl₂ Atmosphere," Jap. J. Appl. Phys., Vol. 24, No. 1, pp. 68-74, 1985.
- [3] M. Alavi, S. Büttgenbach, A. Schumacher and H.-J. Wagner, "Fabrication of microchannels by laser machining and anisotropic etching of silicon," Sensors and Actuators A32, pp. 299-302, 1992.
- [4] G. V. Treyz, R. Beach, and R. M. Osgood, Jr., "Rapid direct writing of high aspect ratio trenches in silicon: Process physics," J. V. Sci. Tec. B, Vol. 6, No. 1, pp. 37-44, 1988.
- [5] H. S. Carslaw and T. C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, 2nd Ed., Oxford University, New York, 1959.
- [6] J. E. Moody and R. H. Hendel, "Temperature profiles induced by a scanning cw laser beam," J. Appl. Phys., Vol. 53, No. 6, pp. 4364-4371, 1982.



한 승 오 (韓 承 嶽)

1973년 6월 14일 생. 1996년 고려대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 - 현재 동 대학원 박사과정 재학중

Tel : (02) 3290-3238

E-mail : hso@elec.korea.ac.kr



박 정 호 (朴 政 浩)

1960년 2월 5일 생. 1985년 미국 퍼듀대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년 - 1995년 Intel Corp. 근무. 1995년 - 현재 고려대 전기공학과 부교수

Tel : (02) 3290-3238

E-mail : pak@kucncx.korea.ac.kr



이 천 (李 天)

1960년 6월 11일 생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 오사카대 전기공학과 졸업(공학박). 1992년 - 1993년 일본 이화학연구소 근무. 1993년 - 1994년 한국과학기술원 Brain Pool 연구원. 1994년 - 현재 인하대 전기공학과 부교수

Tel : (032) 860-7400

E-mail : chnlee@dragon.inha.ac.kr

저 자 소개



이 현 기 (李 賢 基)

1973년 12월 5일 생. 1997년 고려대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 - 현재 삼성전기 종합연구소 μ -device팀 연구원

Tel : (0331) 210-6679

E-mail : microhk@unitel.co.kr