

펜듈럼 구조체 제작을 위한 TMAH 습식 식각 시 모서리 보상에 관한 연구

한규성, 이기정, 박신욱, 양상식
아주대학교 전자공학부

A study on the corner compensation in anisotropic TMAH etching for pendulum structure

Kyu Sung Han, Ki Jung Lee, Sin Wook Park, Sang Sik Yang
Division of Electrical & Computer Engineering, Ajou university

Abstract - Anisotropic TMAH etching is key processing step for the fabrication of pendulum structure. During the etching, convex corners are attacked, and a proper compensating structure design is required when fabricating pendulum structures with sharp convex corner. In this paper, we present four compensation structures for convex corner compensation with 30% wt TMAH-water solution at 89±1°C temperature, and observe the etched convex corner by optical microscope. we compare the result of calculations and experiments about four convex corner compensation patterns.

1. 서 론

이등방성 식각 용액을 이용한 습식 식각은 MEMS에서 3차원 구조물을 제작하기 위해 많이 사용하고 있는 공정 기술이다.[1, 2] 이등방성 습식 식각 시 사용되는 용액은 KOH, TMAH, EDP, 그리고 CsOH등 이 사용 되고 있는데, 특히 TMAH는 독성이 낮고 Si/SiO₂의 선택 식각성이 좋아 습식 식각 공정에 많이 사용된다. 25% 이상의 높은 농도의 TMAH 용액에서 실리콘을 식각할 때 식각표면의 평탄도는 우수하지만 식각 속도가 떨어지고 모서리 부분의 과도 식각율도 높다는 단점이 있으며, 10%의 낮은 농도의 TMAH 용액에서 식각할 경우 식각율이 높지만 평탄도가 좋지 못한 단점이 있다.[3-5]

펜듈럼과 같이 볼록 모서리를 갖는 구조물의 습식 식각에 있어서 고려해야 할 문제점은 convex corner에서 원하지 않는 초과 식각이 발생하여 원하는 형태의 실리콘 구조물을 얻기가 힘들다는 것이다. 이는 습식 식각이 <100> 평면 방향으로 진행될 때, 모서리 부분에서 <311> 평면 방향으로 <100> 방향의 식각율의 2배 이상의 빠른 식각률 식각되어 등방성 식각과 동일한 결과를 초래하기 때문이다. 이러한 과도 식각을 보상하기 위해 <311> 방향을 고려한 패턴들이 KOH 용액을 이용한 습식 식각을 통해 검토되었다 [1,5]

본 논문에서는 습식 식각 시 과도 식각되는 볼록 모서리를 보상하기 위해 기존에 제안되었던 4 가지의 보상 패턴들을 30% TMAH 용액을 이용한 식각실험을 통해 그 결과를 비교하였다.

2. 보상 패턴 설계

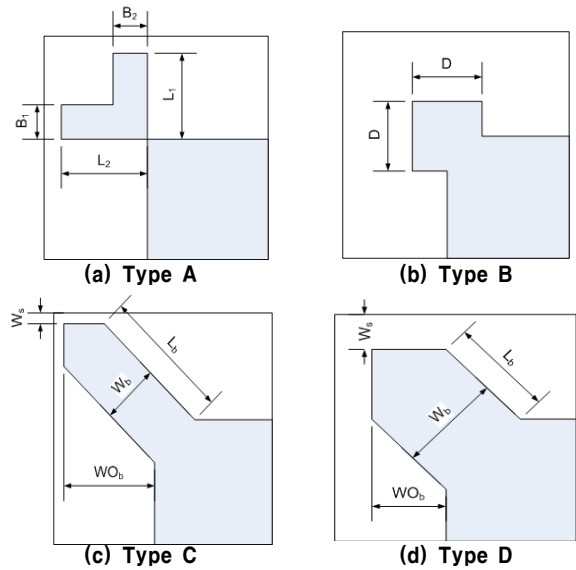
식각 깊이(D_e)에 따른 convex corner 보상 패턴은 그림 1에서와 같이 4 종류로 고안되었다. 먼저 Type A는 L자 형태의 보상 패턴을 가지며, 식각 깊이(D_e)에 따른 치수 설계 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 = 2.86D_e \\ B_1 &= 2.14D_e \\ B_2 &= 1.43D_e \end{aligned}$$

여기서 사용된 L₁, L₂, B₁, B₂는 그림 1에서의 보상 패턴의 길이와 폭이 된다. Type B는 정사각형이 겹쳐진 형태의 보상 패턴을 가지며, 패턴의 치수는 Type A 패턴에서의 L형태의 보상 패턴을 적용하여 경험적 수치로 산출했다.

Type C는 좁은 폭의 빗살 형태의 보상 패턴을 가지며, 식각 깊이(D_e)에 따른 치수 설계 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_b &= 2D_e \\ WO_b &= 1.414 \left[\frac{R(311)}{R(100)} \right] D_e \\ L_b &= \sqrt{2} WO_b \\ W_s &\geq 10\mu m \end{aligned}$$



<그림 1> Convex corner를 위한 보상 패턴

마지막으로 Type D는 넓은 폭의 빗살 형태의 보상 패턴을 가지며, 식각 깊이(D_e)에 따른 치수 설계 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_b &= 3.7D_e \\ WO_b &= 2.186D_e \\ L_b &= \sqrt{2} WO_b \\ W_s &\geq 10\mu m \end{aligned}$$

Type C, D 패턴의 식에서 각각 D_e는 식각 깊이, W_b는 보상 패턴의 너비, WO_b는 구조물 옆면으로부터 보상 패턴의 끝까지의 너비, 그리고 W_s는 빗살 모양의 보상패턴의 끝과 외부 틀 간의 최소 폭 간격을 나타낸다.[1, 6] 참고논문 [1]에서 참고한 식각 깊이 따른 보상 패턴의 치수 설계를 위한 파라미터는 <100> 평면 방향의 식각률 R(100)은 1.12μm/min, <100> 평면 방향에 대한 <311> 평면 방향의 비등방성 식각비 [R<311>/R<100>]은 2.23, <100> 평면 방향에 대한 <111> 평면 방향의 비등방성 식각비, [R<111>/R<100>]는 0.017이고 최소 폭 간격 W_s는 10μm이다.

앞에서 구해진 계산식에 210μm의 식각 깊이(D_e)를 대입하여 convex corner 보상 패턴의 치수는 다음과 같다.

Type A의 제안된 보상 패턴 (그림 1 (a))에 대한 치수는

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 = 607\mu m, \\ B_1 &= 454\mu m \\ B_2 &= 303\mu m \end{aligned}$$

Type B의 제안된 convex corner 보상 패턴 (그림 1 (b))의 치수는

$$D = 330\mu m,$$

Type C의 제안된 convex corner 보상 패턴 (그림 1 (c))의 치수는

$$\begin{aligned} W_s &= 10\mu m, W_b = 425\mu m, \\ WO_b &= 680\mu m, L_b = 962\mu m \end{aligned}$$

Type D의 제안된 convex corner 보상 패턴 (그림 1 (d))의 치수는

$$W_s = 157\mu\text{m}, W_b = 785\mu\text{m},$$

$$WO_b = 620\mu\text{m}, L_b = 877\mu\text{m}$$

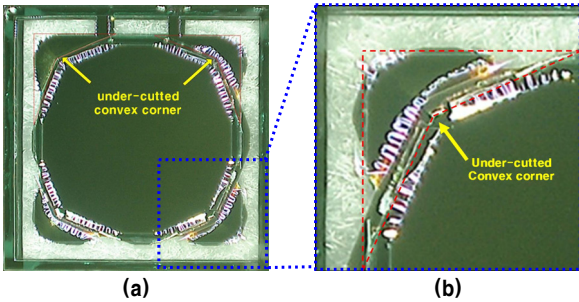
이다.

3. Fabrication

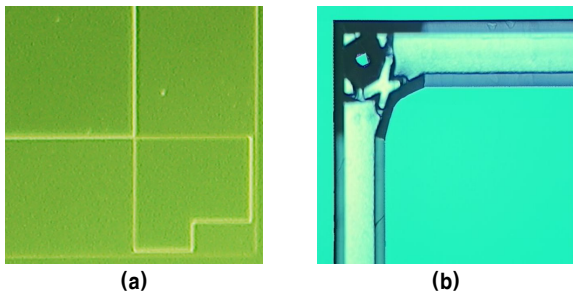
보편화된 사진 식각 공정과 30% wt TMAH 용액의 습식 식각 공정을 사용하여 보상 패턴을 포함하는 구조물의 식각 공정을 진행하였다. 보상 패턴이 형성된 웨이퍼는 89±1℃의 항온식각조에 일정한 농도로 유지하는 30% wt TMAH 용액으로 3시간 10분 동안 식각한다. 식각된 웨이퍼는 전자현미경(Olympus BX60M)을 통해서 측정하였다.

4. 실험 결과

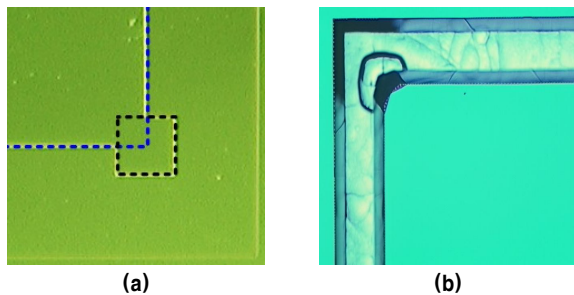
그림 2는 보상 패턴을 고려하지 않고 진행된 제작된 펜듈럼 사진을 보여준다. 제작된 사진과 같이 <311> 평면 방향으로 식각이 진행되어 정사각형의 형태가 아닌 팔면체의 형태의 구조물이 형성됨을 확인하였다.



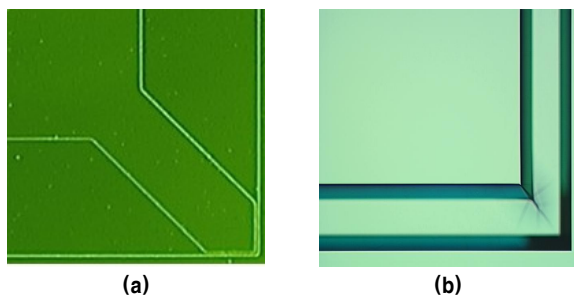
<그림 2> 보상 패턴을 고려하지 않고 습식 식각을 진행한 사진



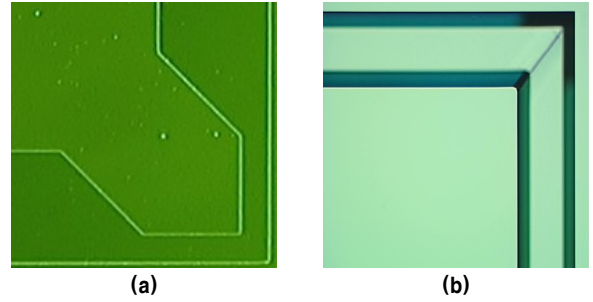
<그림 3> 제작된 Type A의 사진 (a)사진 식각 후 (b)습식 식각 후



<그림 4> 제작된 Type B의 사진 (a)사진 식각 후 (b)습식 식각 후



<그림 5> 제작된 Type C의 사진 (a)사진 식각 후 (b)습식 식각 후



<그림 6> 제작된 Type D의 사진 (a)사진 식각 후 (b)습식 식각 후

그림 3, 그림 4, 그림 5 그리고 그림 6는 각각 앞에서 설계한 4 종류의 보상 패턴을 고려하여 식각한 결과를 보여 준다. 위 각각의 블록 모서리 보상 패턴을 고려하여 식각하여 전자현미경(Olympus BX60M)을 통해 확인해 본 결과, 기존에 제안 되었던 블록 모서리 보상 패턴의 Type A (그림 3 (b)) 패턴은 모서리에서의 초과 식각이 이루어져 보상 패턴을 사용하지 않았을 때의 식각 결과와 비슷한 결과를 확인 할 수 있었다. 그리고 모서리 보상을 위해 추가된 구조체가 식각 후에 충분히 없어지지 않았다. Type B (그림 4 (b)) 패턴에서는 Type A 패턴에 비하여 모서리 부분에서의 초과 식각의 비율이 Type A 패턴에 비해 현저히 감소하였으나 직각형태의 패턴 형성이 제대로 이루어지지 않고 초과 식각이 일어났음을 확인할 수 있었다. 그리고 블록 모서리 보상 패턴 Type C (그림 5 (a))와 Type D (그림 6 (a)) 패턴의 식각 결과에서는 모서리 부분에서 직각 형태의 패턴을 형성하여 그림 5 (b)와 그림 6 (b)와 같이 직각의 블록 모서리를 이루는 것을 확인 할 수 있었다. 또 Type D의 블록 모서리 보상 패턴이 Type C의 블록 모서리 보상 패턴보다 같은 식각 깊이에 있어서 모서리 보상에서 더 작은 WO_b 가 요구됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

3차원 구조물을 제작하기 위하여 TMAH를 이용한 습식 식각 시 블록 모서리의 초과 식각은 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 가장 블록 모서리 보상을 위해 기존에 제안 되었던 4 가지의 블록 모서리 보상 패턴을 이용하여 각 보상 패턴에 대한 블록 모서리의 보상 결과를 알아보았다. 블록 모서리 보상 패턴 Type A(그림 5 (a))와 Type B(그림 6 (a))의 경우 보상 패턴을 적용하였다. 실제로 210μm를 식각한 결과는 그림 3 (b)와 그림 4 (b)에서 볼 수 있듯이 보상 패턴을 적용하지 않은 그림 2의 식각 결과에 비해 블록 모서리에서 초과 식각이 덜 이루어졌으나 직각의 블록 모서리를 얻을 수 없었고 <311> 평면 방향으로 초과 식각이 일어났음을 확인하였다. <100> 평면 방향에 대한 <311> 평면 방향 비등방성 식각비를 고려하여 제안한 개선된 모서리 보상 패턴인 Type C와 Type D를 사용하여 식각한 결과로부터 직각 형태의 모서리 패턴을 얻을 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] R Mukhiya et al, "<100> bar corner compensation for CMOS compatible anisotropic TMAH etching", Journal of Micromechanics and Microengineering, JMM 16, 2458-2462, 2006
- [2] Koide A, Sato K and Tanaka S, "Simulation of two-dimensional etch profile of silicon during orientation-dependent anisotropic etching", Proc. IEEE MEMS Workshop, 216-220, 1991
- [3] O. Tabata, R Asahi, H. Funabashi, S. Sugiyama, "Anisotropic etching of silicon in (CH₃)₄NOH solutions", Tech. Dig, IEEE Int. Conf on Solid-State Sensors and Actuators, 811-814, 1991
- [4] Bao M, Burrer C, Esteve J, Bausells J and Marco S, "Etching front control of <110> strips for corner compensation", Sensors Actuators, A 37-38, 727-732, 1993
- [5] Mitsuhiro Shikida, Kazuo Sato, Kenji Tokoro and Daisuke Uchikawa, "Differences in anisotropic etching properties of KOH and TMAH solutions", Sensors and Actuators 80, 179-188, 2000
- [6] K. Biswas, S. Das and S. Kal, "Analysis and prevention of convex corner undercutting in bulk micromachined silicon microstructures", Microelectronics Journal, 37, 765-769, 2006