

백창욱*, 김용권
서울대학교 전기공학과

Fabrication of the 20 μm-height Polyimide Microstructure Using O₂ RIE Process

Chang-Wook BAEK* and Yong-Kweon KIM

Department of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

Using the O₂ RIE process, 20 μm-height polyimide microstructures are fabricated. In LIGA-like process, metal microstructure can be formed by the electroplating using these polyimide microstructures as a plating mould. Reactive Ion Etching technique using oxygen gas is used for the patterning of polyimide. The etching rate of the polyimide is increased with increased pressure and RF power. The anisotropic vertical sidewall can be obtained at low pressure, but the etched surface state is not so good yet. "Micrograss", which is formed during the RIE and disturbs uniform electroplating, can be removed effectively by the wet etching of the chromium sacrificial layer. More studies about the improvement of an etched surface state and the removal of micrograss are needed.

1. 서론

현재의 MEMS 분야에서는 high aspect ratio를 가지는 구조물의 제작을 위한 공정 개발의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이 중 두꺼운 금속 구조물을 제작하기 위한 방법으로는 LIGA 공정이 있다. LIGA 공정은 X-ray lithography와 도금술을 이용하며 최대 1 mm 정도 높이의 매우 두꺼운 금속 구조물을 high aspect ratio로 제작할 수 있는 장점을 지니고 있다[1]. 그러나 LIGA 공정을 사용하기 위해서는 고가의 싱크로트론 장비가 요구되므로 현재 제한된 연구 기관에서만 제작되고 있다. LIGA 공정의 이러한 단점을 보완하기 위한 방법이 LIGA-like 공정으로, 높이나 패턴의 정밀도 등은 LIGA 공정에 비해 뒤떨어지나 100 μm 정도의 비교적 큰 높이의 구조물 제작이 가능하며, 제작 장치를 손쉽게 이용할 수 있기 때문에 최근 많이 이용되고 있다. LIGA-like 공정은 도금틀로 사용할 폴리이미드 등의 패터닝을 위해 자외선 노광 및 현상 방법 혹은 건식 식각 방법 등 일반적으로 반도체 공정에서 자주 이용되는 방법을 사용한다. 그런데 감광성 폴리이미드를 현상하는 방법의 경우, 공정 단계가 복잡해지며 현상된 폴리이미드 벽면이 수직하게 나오지 않고 안쪽으로 파고드는 현상이 나타나 도금된 구조물의 형상이 나빠지게 된다. 따라서 최근 폴리이미드의 건식 식각 공정을 통해 복잡한 공정을 거치지 않고 수직한 벽면을 형성하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[2-5].

본 논문에서는 LIGA-like 공정으로 약 20 μm 높이의 금속 구조물을 제작할 때, 건식 식각 방법을 이용한 폴리이미드의 패터닝에 있어서 수직한 단면을 얻기 위한 조건을 확립하는 것을 목적으로 하였다. O₂ 가스를 이용한 반응성 이온 식각(Reactive Ion Etching : RIE) 방법을 이용하여 폴리이미드를 식각하였으며, 압력 및 RF power의 변화에 따른 식각률의 변화와 단면 형상의 변화

를 관찰하였다. 또한 RIE 시에 발생하는 micrograss 문제에 대해 기술하고, 그 제거 방법을 설명하였다.

2. 제작 공정

LIGA-like 구조물 제작을 위한 세부적 공정을 그림 1에 나타내었다. 먼저 n형 (100) 실리콘 기판 위에 집착층으로 크롬을 약 300 Å, 도금 기반층으로 니켈을 약 900 Å 정도 증착한다. 그 위에 폴리이미드를 스핀 코팅한 후(LS: 500 rpm, 10 초, HS: 1300 rpm, 30 초) 75 °C에서 약 90 분간 열처리한다. 이 때 얻어지는 폴리이미드의 두께는 약 40 μm 정도이다. 그리고 난 후 폴리이미드를 포토마스크를 사용하지 않고 진면 노광한 후 120 °C에서 30 분간, 다시 200 °C에서 30 분간 연속적으로 열처리하여 안정화시킨다. 이 때 폴리이미드의 두께는 1/2 정도 줄어들어 최종적인 두께는 약 20 μm 정도가 된다.

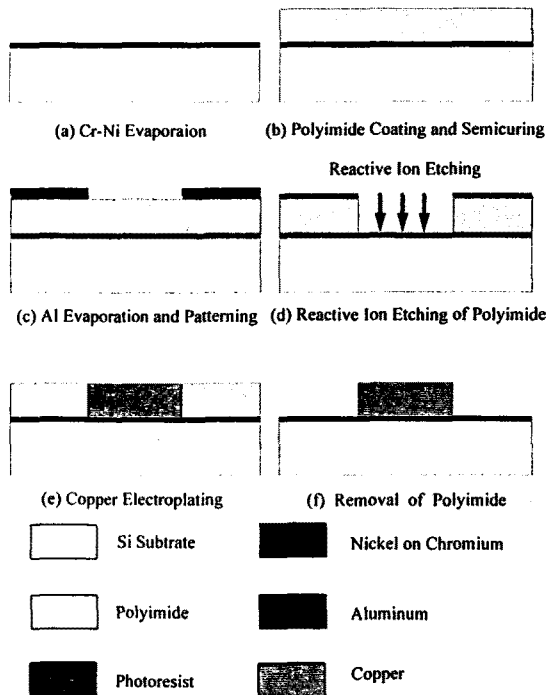


그림 1. LIGA-like 구조물 제작 공정

다음은 폴리이미드 패터닝을 위한 RIE 식각 마스크로 사용할 금속을 증착한다. 본 실험에서는 식각 마스크 재료로서 티타늄(2000 Å)과 알루미늄(4000 Å)을 사용하였다. 금속을 증착한 후에 감광제를 스핀 코팅하고, 포토마스크를 사용하여 원하는 패턴으로 노광 및 현상한 다음 티타늄의 경우는 50:1 HF 용액으로, 알루미늄의 경우는 알루미늄 전용 식각액으로 습식 식각하여 원하는 부분의 금속을 제거한다. 마스크 패터닝이 끝나면 O₂ RIE를 사용하여 폴리이미드를 이방적으로 건식 식각하여 폴리이미드 구조물 및 도금층을 형성한다. 이러한 이방적 식각 조건에 대한 실험 결과는 3장에서 설명한다. 마지막으로 금속 구조물을 얻고자 하는 경우에는 제작된 도금층을 이용하여 구리 전기 도금을 행하고 난 후, 도금층로 사용된 폴리이미드를 역시 O₂ RIE로 건식 식각하여 제거하면 기판 상에 금속 구조물만이 남게 된다. 이 때는 필요없는 필을 제거하는 것이므로 식각 이방성을 고려할 필요가 없기 때문에 압력을 높여 등방적으로 식각하면 된다. 이 때 사용한 RIE 조건은 O₂ 가스 50 sccm, 압력은 700 mT, RF power는 200 W였다.

3. 폴리이미드의 반응성 이온 식각

폴리이미드의 식각 특성에 영향을 미치는 변수들은 반응기 내의 압력, RF power 및 사용 가스의 종류 등이다. 본 논문에서는 이러한 변수들이 식각 특성을 어떻게 변화시키는지에 대하여 조사하기 위해 여러 조건에서의 식각 실험을 행하였다.

먼저 반응기 내의 압력 조건을 변화시키며 식각을 행하였다. 가스는 O₂를 50 sccm 사용하였으며, RF power는 200 W로 일정하게 유지시키면서 압력을 40, 80, 120, 160 mT로 변화시켜 보았다. 그림 2에는 압력 변화에 따른 폴리이미드의 식각률의 변화를 나타내었다. 그림에서 나타나듯이 압력이 증가함에 따라 식각률이 증가하는 것을 알 수 있다.

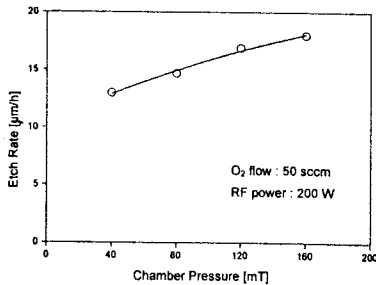
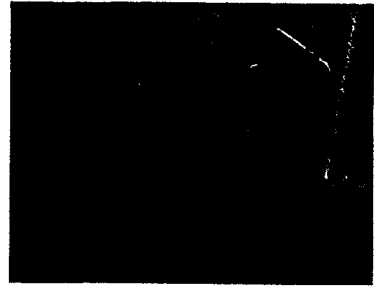


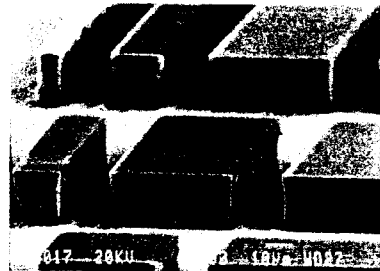
그림 2. 압력 변화에 따른 식각률의 변화

그림 3에는 반응기 내의 압력이 40 mT일때와 160 mT일때의 폴리이미드의 식각된 단면 형상의 SEM 사진을 나타내었다. 사진에서 나타나는 것과 같이 반응기 내의 압력이 낮은 경우에 더욱 수직인 모양의 비등방적 단면을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이것은 압력이 높을 경우 플라즈마 내에서 이온과 중성 분자의 충돌이 많아져 비등방도가 감소하기 때문이다. 따라서 식각 속도 면에서는 압력이 높은 것이 유리하나, 비등방적 단면을 얻기 위해서는 압력을 낮추어야 한다. 또한 식각된 단면을 관찰하여 보면 표면 상태가 거칠고 식각된 찌꺼기들이 붙어 있는 것이 보이며, 기판과 붙어 있는 하부 쪽의 식각은 완전히 이루어지지 않은

것을 관찰할 수 있다.



(a) 160 mT에서 식각한 경우



(b) 40 mT에서 식각한 경우

그림 3. O₂ RIE로 식각된 폴리이미드 단면의 SEM 사진

그림 4는 RF power의 변화에 따른 식각률의 변화를 나타내었다. 여기서 O₂ 가스의 양은 50 sccm, 압력은 40 mT로 고정시켰다. 그림에서 나타나듯 RF power가 증가함에 따라서 폴리이미드의 식각률은 증가하게 된다. 200 W의 RF power에서의 식각률은 약 13 µm/h 정도이며, 약 20 µm 두께의 폴리이미드를 식각하는데 소요되는 시간은 약 100 분 정도이다.

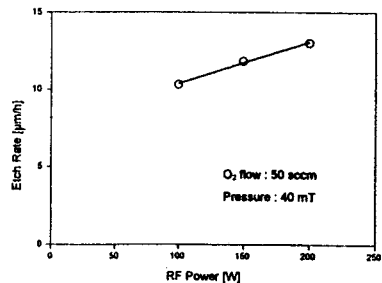


그림 4. RF power의 변화에 따른 식각률의 변화

위의 결과로 볼 때 수직한 단면을 얻기 위해서는 압력을 최대한 낮추어야 한다. 그런데 실험에서 사용한 RIE 장비로는 가스의 흐름이 존재할 경우 압력을 어느 이하로 낮추는 것이 불가능하여, 50 sccm의 O₂ 가스를 사용할 경우 압력을 40 mT 이하로 낮출 수는 없었다. 또한 압력을 낮추면 식각 속도가 감소하므로 최대한 빠른 식각을 위해서는 RF power를 최대한 크게 하여야 하는데, 이 때 압력이 낮으면 RF 임피던스 정합이 어려워 플라즈마 상태가 불안정해지며, 식각 도중 플라즈마가 꺼지면서 전력 전

닫이 되지 않는 경우가 발생하였다. 그러므로 본 실험에서 인가한 RF power의 최대값은 약 200 W 까지로 제한하였다.

폴리이미드의 건식 식각 공정에서 일어나는 가장 큰 문제점은 바로 micrograss 문제이다[6]. RIE 공정이 이루어지는 동안 이온들에 의해 식각 마스크로 쓰인 금속들이 물리적으로 스퍼터링되어 기판위에 다시 증착되는 현상이 발생하고, 이것들이 다시 식각되어야 할 부분의 식각 마스크로 작용하게 되는데, 이것을 micromask 라 한다. 건식 식각으로 수직화 단면을 얻기 위해 낮은 압력에서 이방적 식각을 행하게 되면 micromask 가 쌓인 부분에는 폴리이미드가 식각되지 않고 그대로 남아, 가늘고 뾰족한 폴리이미드 찌꺼기들이 마치 잔디와 같은 형태로 기판 상에 남게 되는데 이것이 바로 micrograss 이다. RIE 직후에 기판 상에 존재하는 micrograss 의 모습을 그림 5 에 나타냈다. 폴리이미드를 식각한 구조물을 금속 구조물 형성을 위한 도금물로 사용할 경우, 도금될 기판 금속층 위에 micrograss 가 존재하게 되면 도금이 잘 되지 않고 균일한 도금을 방해하는 요인이 된다. 따라서 이러한 micrograss 의 제거가 매우 중요하다.

이전의 실험에서는 micrograss 의 제거를 위해 먼저 초음파 발생 용기에 물을 채운 후 시편을 넣고 초음파를 발생시켜 micrograss 를 물리적으로 떨어내는 방법을 사용하였다[5]. 이 방법은 어느 정도의 효과를 볼 수 있으나 초음파의 영향으로 선풍기가 느더라도 패턴들이 같이 떨어져나가는 부수적인 문제가 발생한다. 따라서 여기서는 금속 회생층을 증착하는 방법을 사용하였다. 도금 기반층인 Ni 층의 증착 후에 회생층으로 Cr 을 약 150 Å 정도로 얇게 증착하고, RIE 후에 드러난 회생층을 Cr 식각액으로 식각해 내면 Cr 이 식각되면서 그 위에 존재하는 micrograss 들이 같이 떨어져 나가게 된다. 이 방법으로 micrograss 를 제거한 후의 모습을 그림 6 에 나타내었는데, 기판 상에 존재하는 micrograss 들을 효과적으로 제거할 수 있음을 알 수 있다. 또한 금속 전기 도금 후에도 역시 RIE 로 도금층을 제거하게 되는데, 이 때에도 동일한 효과를 거둘 수 있는 이점이 있다. 그러나 금속 회생층의 습식 식각은 등방적으로 일어나므로 식각 시간을 잘 조절해야 하며, 과도 식각이 될 경우는 역시 초음파 세척 방법과 같이 구조물들이 같이 떨어져 나갈 수 있으므로 주의해야 한다.

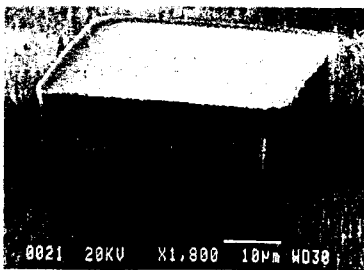


그림 5. RIE 직후에 기판 상에 존재하는 micrograss

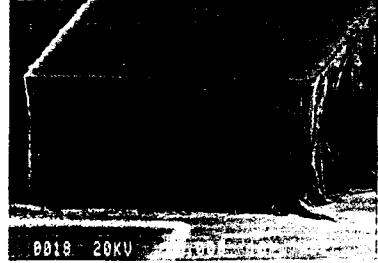


그림 6. RIE 후 크롬 회생층을 식각한 후의 모습

5. 결론 및 향후 과제

O₂ RIE 공정을 이용한 건식 식각 방법을 통해 20 µm 높이의 폴리이미드 구조물을 제작하였다. RIE 를 이용한 폴리이미드의 건식 식각에서는 압력을 낮출 수록 비등방적 단면을 얻을 수 있으나, 압력 감소에 의한 식각률 저하 현상이 있으므로 RF power 는 가급적 높게 설정해야 최대한 빠른 식각을 행할 수 있다. 건식 식각 과정에서 발생하는 micrograss 문제는 금속 회생층을 이용하여 해결할 수 있으나, 식각된 단면 상태는 아직 개선의 여지가 남아 있다. 추후로는 다른 가스를 혼합 사용하는 방법에 의한 식각 단면 상태의 개선 및 micrograss 의 제거를 위한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- [1] W. Menz, W. Bacher, M. Harmening and A. Michael, "The LIGA Technique - A Novel Concept for Microstructures and the Combination with Si-Technologies by Injection Molding", *Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System*, Nara, Japan, 1991, pp. 69-73.
- [2] A. B. Frazier and M. G. Allen, "High Aspect Ratio Electroplated Microstructures Using a Photosensitive Polyimide Process", *Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System*, Travemünde, Germany, 1992, pp. 87-92.
- [3] S. C. Chang, M. W. Putty and D. B. Hicks, "The Formation of Electroplating Molds by Reactive Ion Etching", *The 8th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'95)*, Stockholm, Sweden, 1995, pp. 577-580.
- [4] K. Murakami, K. Minami and M. Esashi, "High Aspect Ratio Fabrication Method Using O₂ RIE and Electroplating", *Micro System Technologies '94*, Berlin, Germany, 1994, pp. 143-152.
- [5] S. W. Chung, J. W. Shin, Y. K. Kim and B. S. Han, "Design and Fabrication of Micro Mirror Supported by Electroplated Nickel Posts", *The 8th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'95)*, Stockholm, Sweden, 1995, pp. 312-315.
- [6] H. Jansen, M. de Boer, R. Legtenberg and M. Elwenspoek, "The Black Silicon Method: A Universal Method for Determining the Parameter Setting of a Fluorine-Based Reactive Ion Etcher in Deep Silicon Trench Etching with Profile Control", *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 5, No. 2, 1995, pp. 115-120.