마이크로/나노 구조물의 반전통적인 물성

이 글에서는 전형적인 포토리소그래피 공정을 변형 적용하여 다양한 모양의 3차원 감광막 구조물을 형성할 수 있는, 다중노광 단일현상 공정, 다중코팅 단일노광 공정, 디퓨저 리소그래피 공정, 리플로 공정 등 네 가지 기술을 소개한다.

고종수 부산대학교 기계공학부, 부교수 E-mail : mems@pusan.ac.kr

리소그래피(lithography)는 그리스어로 "돌(lithos)에 새기다(graphein)"라는 말에서 유래한 것으로서 석판화 또는 석판인쇄를 말한다. 포토리소그래피(photolithography)란 이러한 석판인쇄술을 보다 정교하게 할 수 있도록 조각칼 대신 빛과 포토마스크를 이용하여 극미세 패턴을 형성하는 기술을 말한다. 이를 공학적으로 표현하면 포토리소그래피는 투명한 포토마스크에 형성된 극미세 무늬를 실리콘 웨이퍼 위에 빛과 감광막을 이용하여 그대로 전사하는 일련의 공정을 말한다. 이러한 포토리소그래피 기술은 반도체 공정용으로 개발되어 실리콘 기판과 같은 평탄한 평면에서 2차원적인 형상을 얼마나 미세하고 정확하게 구현해 내느냐에 초점이 맞추어져왔다. 이를 만족시키기 위하여 감광막의 두께는 얇을수록, 패턴된 감광막 구조물의 옆면은 수직에 가까울수록 좋다.

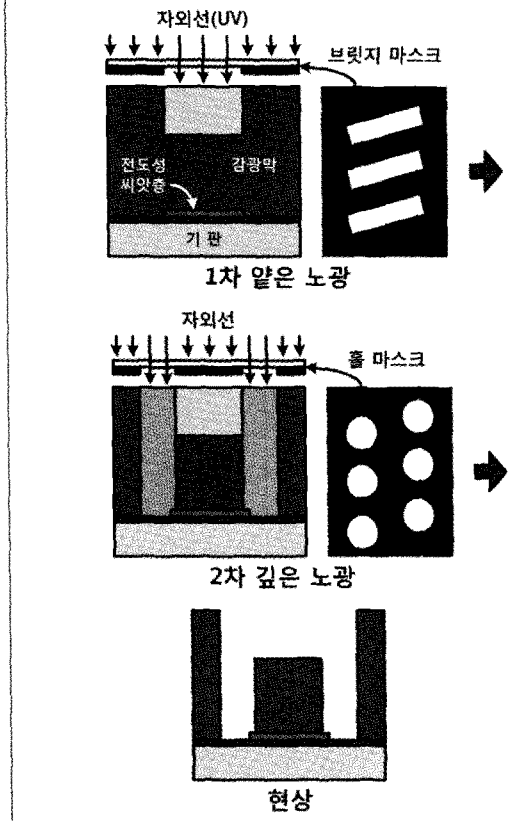
기존에 축척되어왔던 반도체 공정 기술이 실리콘을 기반으로 하는 MEMS 소자 제작에 근간이 되었다는 것은 익히 잘 알려진 사실이다. 1980년대 왕성하게 개발된 실리콘 MEMS 가공기술 중 실리콘을 깊게 식각하는 몇 가지 기술을 제외한 대부분의 가공기술이 반도체 가공기술로부터 비롯되었다. 반도체 전체 공정의 30% 이상을 차지하는 기본 공정인 포토리소그래피는, 실리콘을 기반으로 하는 MEMS 공정에서도 반도체 공정과 비견될 만큼 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근 들어 다양한 산업분야의 요구에 힘입어 포토리소그래피 기술이 단순한 2차원 패턴형상을 얻는 데에서 벗어나, 3차원 형태의 구조물을 직접적으로 형성하는 데 활용되고 있다. 이러한 3차원 형태의 감광막 구조물은 폴리머 캐스팅용 몰드 또는 전주도금을 통한 금속몰드를 제작하기 위한 틀과 같은 다양한 용도로 사용된다. 이 글에서는 전형적인 포토리소그래피 공정을 변형 적용하여 다양한 3차원 감광막 구조물을 형성할 수 있는 기술 네 가지를 간추려 소개한다.

다중노광 단일현상 공정

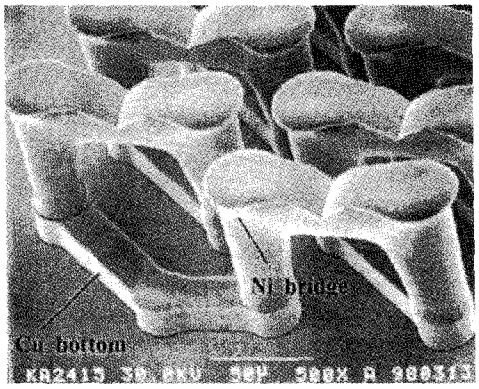
다중노광 단일현상 공정(MESD: Multi-Exposure Single Development)은 KAIST 윤준보 교수에 의해 제안된 공정으로, 그림 1(a)에서와 같이 후막 감광제인 AZ9262를 코팅한 후, 첫 번째 포토마스크를 이용하여 1차로 얕은 노광을 수행한 후, 두 번째 포토마스크를 이용하여 2차로 깊은 노광을 수행한 다음 한꺼번에 현상하는 기법이다.[1] 그림 1(b)는 이러한 방법으로 형성한 감광막 구조물에 후속 구리 전주도금을 수행하여 제작한 3차원 구리 구조물을 보여준다.

다중코팅 단일노광 공정

다중코팅 단일노광 공정은 두 종류의 감광제를 순차적으로 코팅하고 열처리한 다음 한 번의 노광과 현



(a) 공정 순서



(b) 후속 구리전주도금을 수행하여 제작한 마이크로 구조물

그림 1 다중노광 단일현상 공정[1]

상을 거쳐 하부의 감광제가 보다 깊게 현상되도록 하여 언더컷 현상을 구현하는 것을 말한다. 그러므로 이 방법은 하부에 코팅된 감광제의 특성이 매우 중요하다. 그림 2(a)에 공정순서를 나타내었다.[2] 이 글에서는 다중코팅 단일노광용 감광제로 개발된 Microchem 사의 LOR(lift-off resist) 감광제를 예로 들어 설명한다. LOR 감광제는 PMGI(polydime-thylglutarimide) 기반의 양성감광제이다. 공정 순서로는 먼저 웨이퍼 위에 LOR 감광제를 코팅하고 열처리를 수행한다. 다음으로 통상적으로 사용하는 양성감광제를 코팅하고 열처리를 수행한다. 이 후 노광과 현상을 거치면, 현상 시 하부에 있는 LOR 감광제가 더 많이 현상되어서 그림 2(b)에서와 같이 자연스럽게 언더컷 모양의 구조물이 형성된다.

디퓨저 리소그래피 공정

디퓨저 리소그래피(diffuer lithography)는 갓 유리(diffuer glass)를 통과하면서 생기는 빛의 산란을 리소그래피에 응용한 것으로서 KAIST 윤준보 교수가 제안하였다. 그림 3(a)는 양성감광제를 사용한 디퓨저 리소그래피 공정 순서를 나타낸다.[3] 디퓨저 리소그래피는 노광 시 디퓨저를 포토마스크 위에 끼워 넣는 것을 제외하면 기존의 사진공정과 모든 과정이 동일하다. 디퓨저는 유리판의 한 쪽 면이 샌드 블러스트되어 있거나 불투명한 단백석(opal)이 코팅되어 있어, 빛이 다양한 각도로 입사되게 한다. 그러므로 샌드 블러스트된 정도나 단백석 박막의 특성에 따라 디퓨저를 통과한 빛이 퍼지는 정도가 달라진다. 디퓨저 리소그래피를 통해 형성된 감광막패턴의 단면은 기본적으로 항아리와 비슷한 모양을 가진다. 그림 3(b)는 디퓨저 리소그래피 기법을 사용하여 두꺼운 감광막과 얇은 감광막을 패턴한 결과를 보여준다.

리플로 공정

감광제를 이용한 리플로(reflow) 공정은 1988년 Popovic에 의하여 제안되었다.[4] 이 기술은 그림 4(a)에서와 같이 기존의 사진공정을 통하여 현상공정까지 마친 후, 감광막을 용융점 이상으로 가열하여 형상을 둥글게 변형시키는 것을 말한다. 용융된 감광막 구조물은 표면장력에 의하여 자연적으로 구면을 형성한다. 리플로 공정을 이용해 독립적인 돌기형 패턴을 사용하면 그림 4(b)에서와 같은 반구형이 제작되지만, 띠 형상과 같은 연결된 패턴을 사용하면 그림 4(c)에서와 같은 동

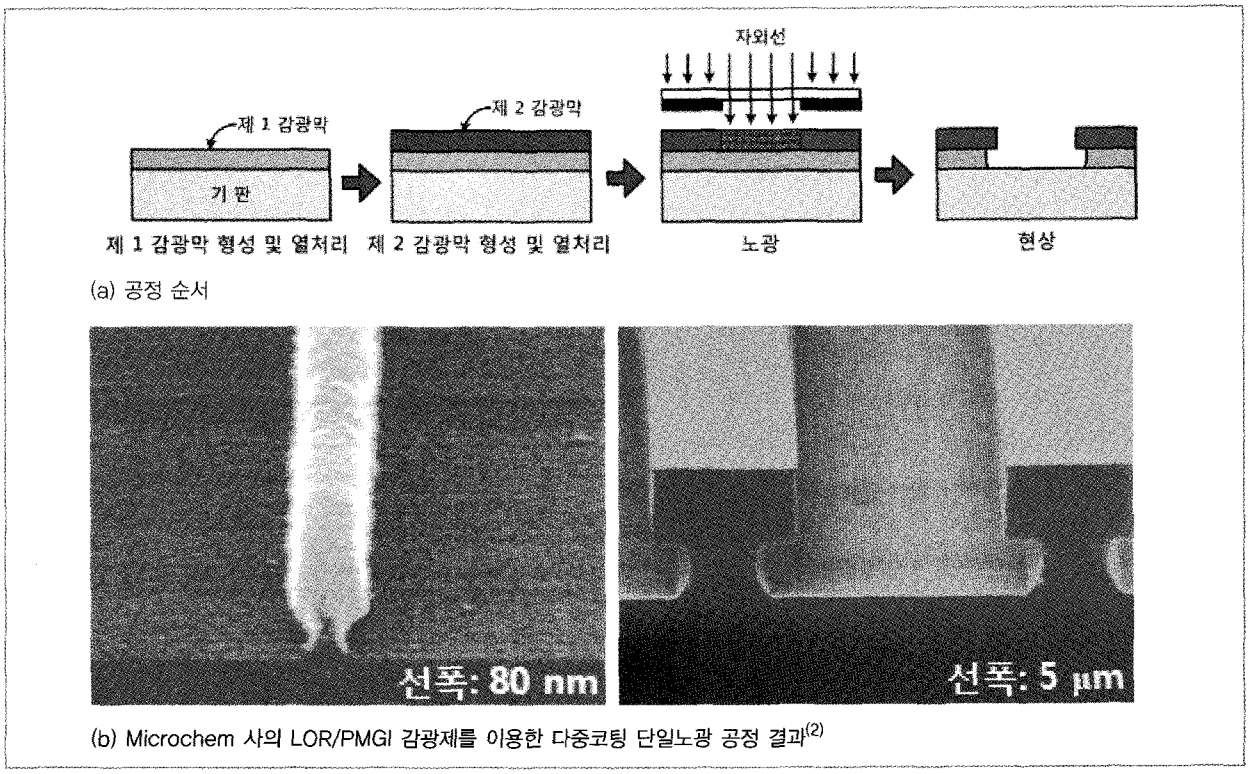


그림 2 다중코팅 단일노광 공정

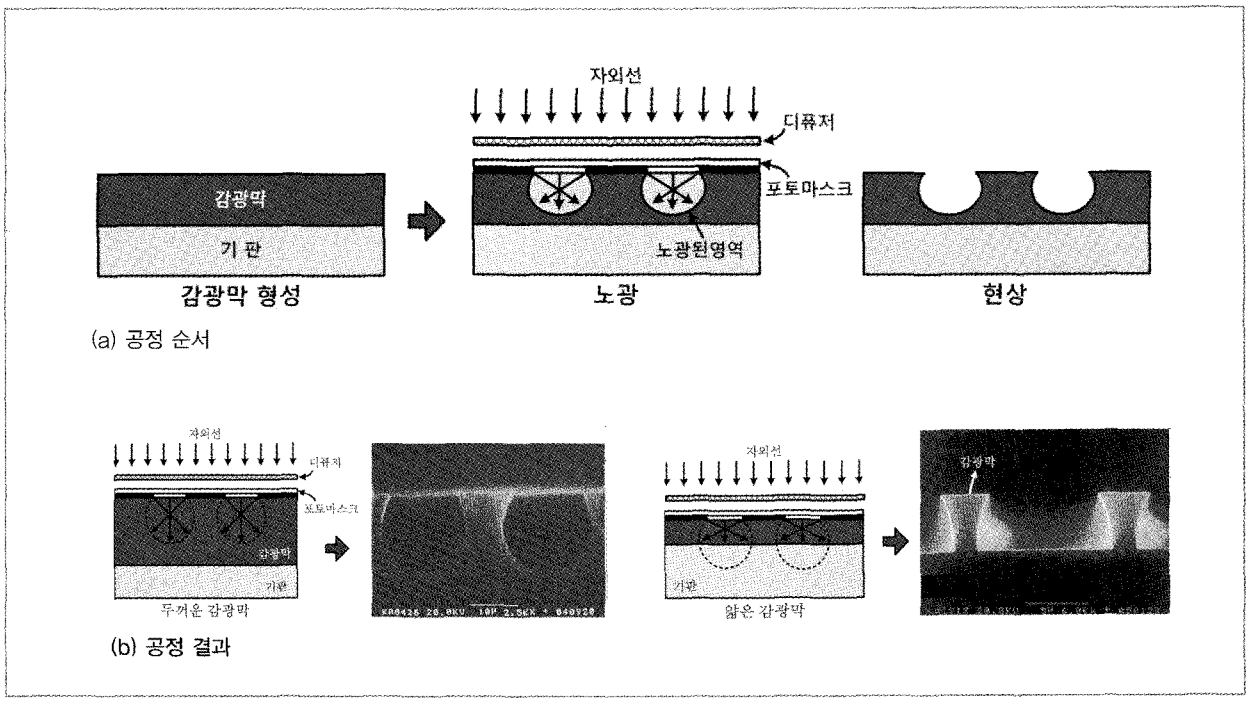
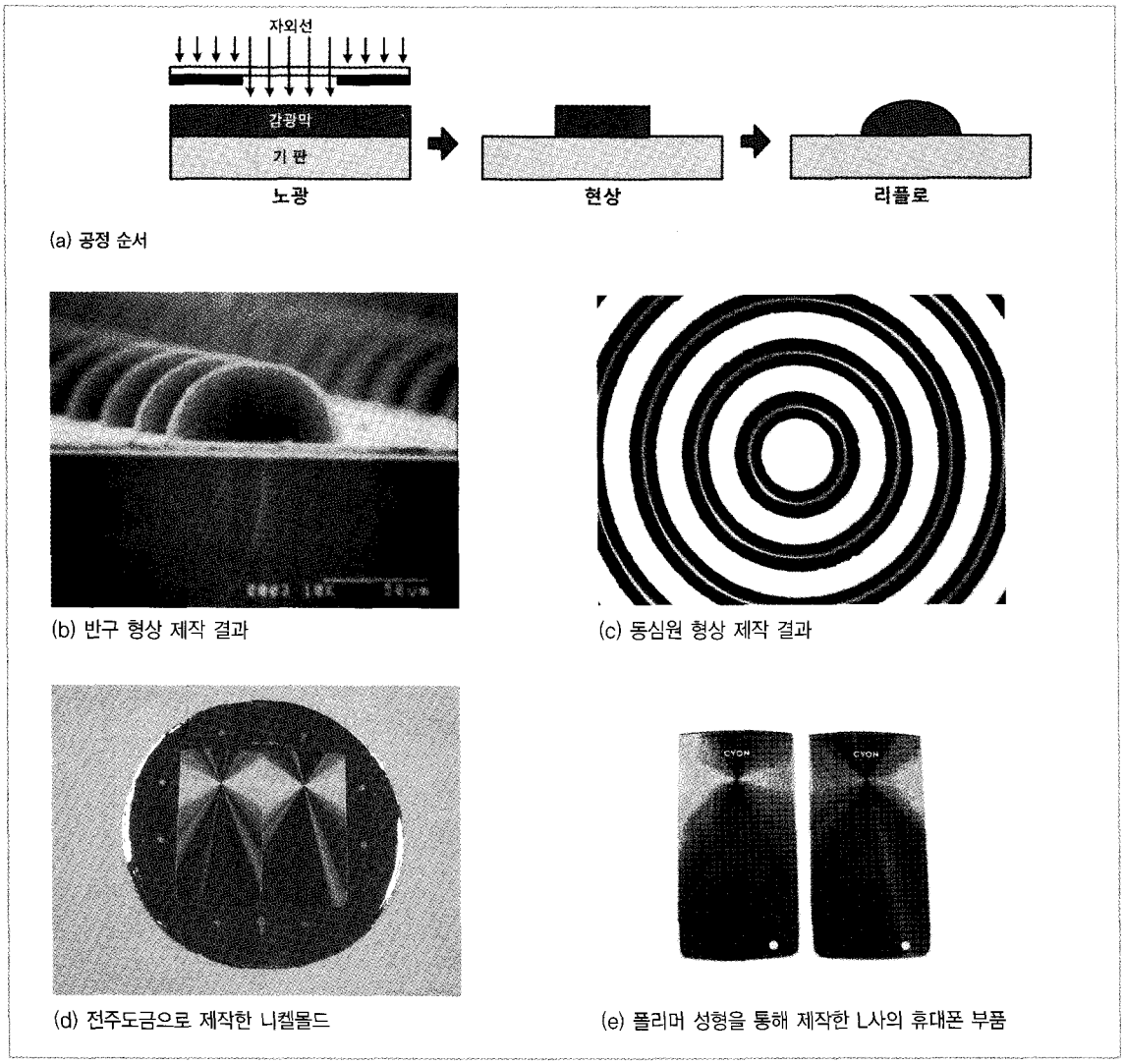


그림 3 디퓨저 리소그래피 공정(3)

심원 형상의 구조물 제작도 가능하다. 리플로를 이용한 반구형상의 감광막 구조물 제작 기술에 전주도금 및 사출성형 기술이 곁들여지면서 폴리머 마이크로렌즈의 대량생산이 용이하게 되었다.(5) 그림 4(d)와 (e)는 저자의



(a) 공정 순서

(b) 반구 형상 제작 결과

(c) 동심원 형상 제작 결과

(d) 전주도금으로 제작한 니켈몰드

(e) 폴리머 성형을 통해 제작한 L사의 휴대폰 부품

그림 4 리플로 공정

연구실에서 동심원 형상의 감광막 구조물을 이용하여 니켈금속몰드를 제작한 예와 이를 이용하여 현재 출시되고 있는 L사의 상용 휴대폰의 부품을 제작한 예를 보여준다.

Heremans 등은 그림 5에서와 같이 다층의 감광막 코팅과 리플로를 이용하여 버섯모양의 마이크로렌즈를 제작하였다.[6] 그림 5(a)에 나타낸 공정순서는 먼저 감광막을 코팅하고 열처리를 한 다음 전면 노광한 후, 상온보다 조금 높은 온도에서 24시간 동안 건조하는 방법으로 제1차, 제2차 감광막을 순차적으로 제작한다. 마지막으로 제3차 감광막에서는 포토마스크를 이용하여 통상적인 노광을 실시한다. 현상공정을 끝낸 감광막 구조물의 모양은 그림 5(b)의 ①, ②와 같으며, 리플로우를 통하여 제작된 형상은 그림 5(b)의 ③, ④와 같이 버섯모양으로 제작된다. 이 같은 버섯모양의 감광막 구조물은 그림 5(c)에서와 같이 발광다이오드(LED) 어레이 위에 형성되어 렌즈로 활용된다.

참고문헌

(1) J.-B. Yoon, C.-H. Han, E. Yoon, and C.-K. Kim, "Monolithic Fabrication of Electroplated Solenoid Inductors Using Three-Dimensional Photolithography of a Thick Photoresist," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37,

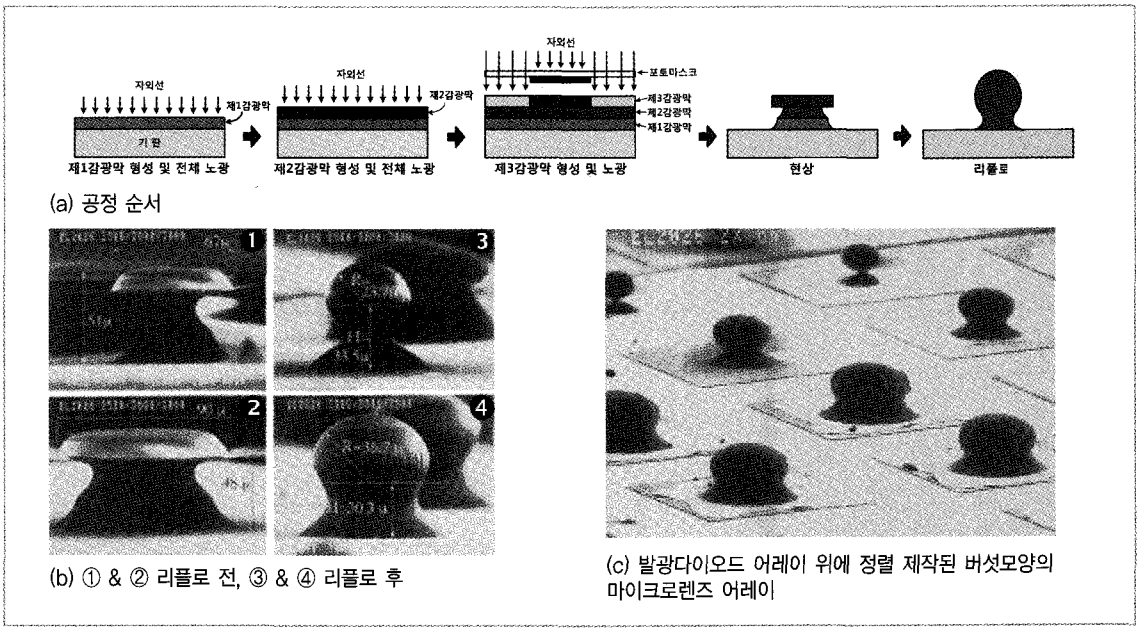


그림 5 3층 감광막 구조와 리플로를 이용하여 제작한 버섯모양의 감광막 구조물[6]

No. 12B, pp. 7081-7085, 1998.

(2) Microchem.com/products/pdf/PMGI-Resists-data-sheetV-rhcedit-102206.pdf.

(3) Hyung Suk Lee and Jun-Bo Yoon, "A simple and effective lift-off with positive photoresist," J. Micromech. Microeng. Vol. 15, pp. 2136-2140, 2005.

(4) Zoran D. Popovic, Robert A. Sprague, and Neville G. A. Connell., "Technique for monolithic fabrication of microlens arrays," Appl. Opt., 27(7):1281+, April 1988.

(5) H. Ottevaere, R. Cox, H. P. Herzig, T. Miyashita, K. Naessens, M. Taghizadeh, R. Völkel, H. J. Woo, and H. Thienpont, "Comparing glass and plastic refractive microlenses fabricated with different technologies," J. Opt. A: Pure Appl. Opt., Vol. 8, S407 429, 2006.

(6) P. Heremans, J. Genoe, M. Kuijk, R. Vounckx, and G. Borghs, "Mushroom Microlenses: Optimized Microlenses by Reflow of Multiple Layers of Photoresist," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 9, No. 10, pp. 1367-1369, 1997.

기계용어해설

스카핑(Scarfing)

봉재, 잉곳, 필릿, 판재 표면에 있는 결함을 제거하거나 용접 개선을 가스 토치로 국부적으로 용해해서 제거하거나 파는 것.

소기행정(Scavenging Stroke; 掃氣行程)

4사이클 내연기관의 배출행정 또는 2사이클 기관의 작동행정 말단에서 소기구, 배기구가 열린 후 소기가 이루어지기까지의 기간.