

선택적 경사 노광과 후면 노광에 의한 3차원 구조물의 제작

論文

53C-1-9

Fabrication of 3-D Structures by Inclined and Rear-side Exposures

李準燮* · 申鉉俊** · 文盛昱*** · 宋錫虎§ · 金台輝§§
(Joon-seob Lee · Hyun Joon Shin · S. Moon · Seok Ho Song · Tea Youp Kim)

Abstract – 3D microstructures with different side-wall angles and different scales are fabricated by both methods of inclined exposure and rear-side exposure at each of selected areas on a same substrate. Conventional methods of inclined exposure are used to make side-walls with a same inclined angle on one substrate and to get a scale error due to front-side exposure through thick photoresist layer. But, by using the proposed method, we are able to fabricate 3D microstructures on a same substrate with various side-wall angles and accurate dimensions as the original design. In the rear-side exposure, UV exposure light reflects from the chromium mask pattern after passing through the thick photoresist layer, resulting in fabrication of well-defined, inclined 3D structures inside the thick photoresist layer.

Key Words : 선택위치노광, 경사노광, 후면노광, 반사방지막, SU-8, V-groove

1. 서 론

기존의 MEMS 구조물은 수직으로 고종횡비를 갖는 구조물이거나 단순 경사 노광에 의하여 제작된 동일 기판 상의 구조물들이 전체적으로 동일한 경사각만을 갖는 구조물이라는 한계를 지닌다[1]. 그리고, 기존의 경사 노광법을 사용할 경우에는 공정 과정에서 기판에 도포 되는 감광제의 두께가 일정 수준 이상으로는 정확하게 조절 되지 못하고 기판과 마스크 사이의 간격도 위치에 따라 조금씩 다르므로 설계와 정확하게 일치되는 크기와 위치의 구조물 제작에 한계를 갖고, 기존의 미소 가공 규모인 MEMS 구조물은 mm단위의 규모를 갖는 구조와의 결합에서도 한계를 갖는다.

이러한 문제점의 해결을 위하여 본 논문에서는 선별적 경사 노광법을 적용하여 미소 구조물을 제작하였다. 이는 동일 기판에 다른 경사각을 갖는 구조물들을 설계된 정확한 위치에 만들어 지도록 한다. 그리고 기존의 노광기에 비하여 빛의 퍼지는 정도를 줄인 MRPBI(Mirror Reflected Parallel Beam Illuminator : 거울 반사 평행광 노광기)[2]와 SU-8을 이용하여 기계가공 규모인 0.5mm 깊이의 콜리메이팅 렌즈(collimating lens) 정렬용 V-groove와 미소가공 규모인 광섬유 정렬용 V-groove가 연결되어있는 구조물을 만들었으며, 유리 기판을 투과한 빛으로 노광을 하는 후면 노광법을 이용하여 정확한 위치에 하단이 상단에 비하여 좁은 경사 구조를

이 만들어 지도록 하였다. 기판 표면에서의 반사광에 의한 경사 노광 시의 불필요한 노광을 막기 위한 방법으로는 기판 위에 질화 규소막을 증착하거나 기판으로 유리기판을 사용하는 방법을 적용하였으며, 후면 노광법을 이용하는 경우는 반사에 의한 노광 효과가 제거되는 것을 관찰하였다.

2. 다양한 노광 방법의 적용

3차원 구조물의 제작 가능 형태와 제작 정밀도를 높이기 위하여 선택적 위치에서의 경사 노광과 MRPBI에 의한 노광, 후면 노광의 방법을 이용하였다. 이러한 방법을 이용하여 동일 기판 상의 구조들이 다른 각도를 가질 수 있도록 하였다. 그리고 평행광에 의한 노광과 두껍게 도포된 감광제를 이용하여 다양한 규모를 갖는 구조물을 만들었으며, 유리 기판을 통한 후면 노광을 이용하여서는 구조물의 하단이 설계상의 정확한 위치에 정확한 규격으로 만들어 지는 것을 가능하게 하였다.

2.1 동일 기판에 다른 경사각을 갖는 구조물의 제작

기존의 경사 노광법이 갖는 제작 상의 한계는 동일 기판 위의 구조물들은 모두 동일한 경사각을 갖게 되는 것이다. 그러나 실제의 적용에 있어, 동일 경사각을 갖는 구조물의 집합은 제약이 된다. 이러한 제약의 극복을 위하여 본 논문에서는 단일 공정에서 여러 번의 경사 노광을 수행하고 [3][4], 각 경사 노광 과정에서 위치 선별적 노광을 수행하여, 동일 기판 위에 각각 다른 경사각을 갖는 구조물을 제작하였다. 선별적 경사 노광에 의하여 동일 기판에 다른 경사각을 갖는 구조물을 제작하는 과정이 그림 1에 보여진다. 그림 1에 보여지는 것과 같이 선별적 노광을 위하여 크롬 마스크 위에 부분적 위치선별을 위한 마스크를 겹쳐서 사용하는 방법 외에, 각각 다른 마스크들을 정렬과정을 통하여 각각 경

* 準會員 : 漢陽大 自然科學大 物理學科 碩士課程

** 非會員 : 韓國科學技術研究園 研究員

*** 非會員 : 韓國科學技術研究園 責任研究員

† 非會員 : 漢陽大 自然科學大 物理學科 副教授

‡ 非會員 : 韓國科學技術研究園 學生研究員

接受日字 : 2003年 8月 29日

最終完了 : 2003年 11月 10日

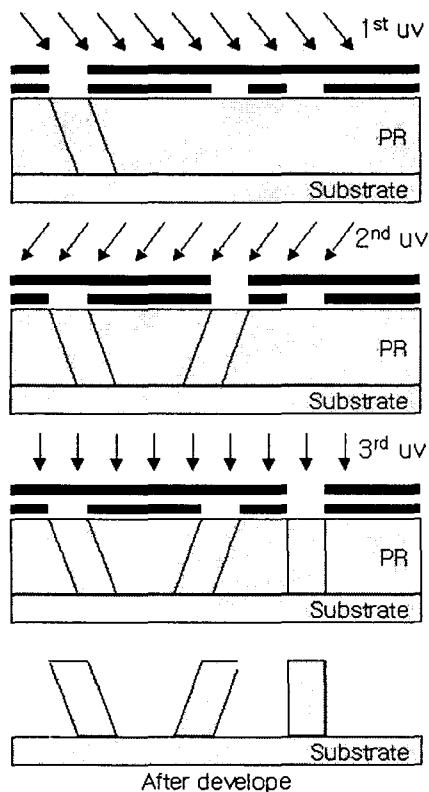


그림 1 선택 위치에서의 노광 과정

Fig. 1 Schematic of partially selected exposure process

사 노광을 수행하여 동일 기판에 다른 경사각을 갖는 구조물을 제작하는 것도 가능하다. 그림 2는 위치 선별적 경사노광을 이용하여 만들어진 구조물의 SEM image이다. 우측 하단의 구조물들은 수직 경사각 0°를 갖고, 좌측 상단의 구조물들은 각각 17°, -17°의 수직 경사각을 갖는다. 감광제로는 SU-8을 사용하였고, 구조물의 두께는 150 μ m이다. 다양한

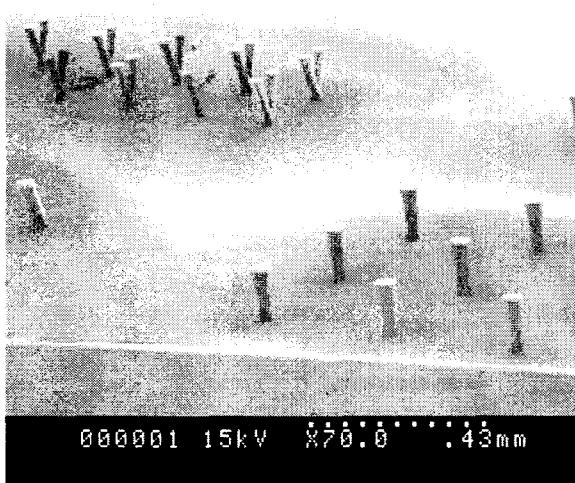


그림 2 선택 위치에서의 노광에 의한 구조물

Fig. 2 Structure by partially selected exposure process

경사각을 갖는 구조물의 조합은 백라이트 유닛(backlight unit)의 도광판에 있는 광학산부 구조가 갖는 경사각을 도광판의 위치에 따라 다르게 만들어 도광판의 광 확산 균일도를 높이는데 적용이 가능하다.

2.2 다중 규모 경사 구조물의 제작

본 논문에서는 기존의 MEMS 구조물이 미소 규모에 머무르는 제약을 제거한 구조물로써 2차원 광 스위치에서 광섬유와 콜리메이팅 렌즈를 연속적으로 정렬하기 위해 사용되는 V-groove를 감광제로 만들었다. 2차원 광스위치 정렬용 V-groove는 직경이 125 μ m인 단일모드 광섬유와, 직경이 1mm인 콜리메이팅 렌즈가 연속적으로 위치 되도록 제작이 되는데, 이를 위한 기존의 V-groove는 실리콘의 비동방성 식각을 이용하여 만들어지지만, 하부부식에 위한 구조물 크기의 변경과 정해진 각도로만 제작이 가능하다는 단점이 있다 [5]. 그러나 구조물의 규모가 미소가공 규모와 기계가공 규모를 모두 포함 하므로 기존의 비동방성 식각 이 외의 방

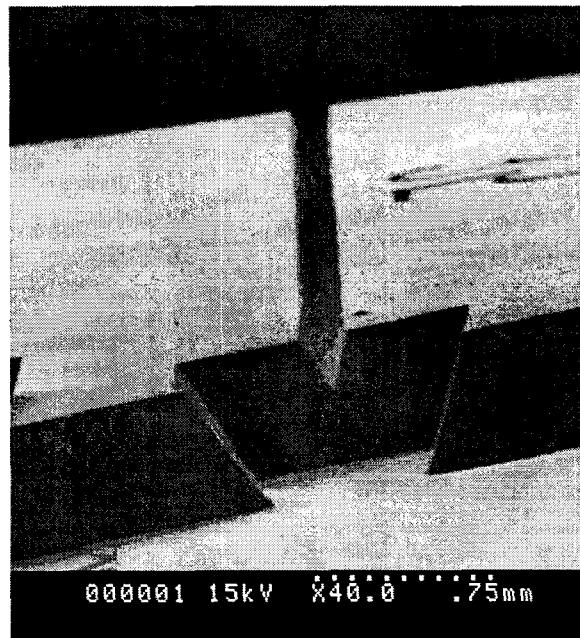


그림 3 감광제를 이용한 V-groove

Fig. 3 SEM image of Photoresist V-groove

법으로는 제작 상에 한계가 있다. 이러한 문제점의 해결을 위하여 경사 노광법을 이용해 감광제로 V-groove를 만들었다. 기존의 미소가공법에 의한 구조물 제작은 노광 시에 빛의 퍼지는 성질에 의해 고종횡비의 두꺼운 구조물의 제작에는 한계를 갖는다. 엔엑스선(soft X-ray)을 이용한 노광 [6] 등의 방법을 적용하여, 이러한 제약의 해결을 시도하고 있으나 노광에 사용되는 광원의 접근성이 나쁘다는 단점을 갖는다. 본 연구에서는 미소가공법만으로 다중 규모의 V-groove를 만들기 위하여 감광제로는 SU-8을 이용하였고 MRPBI를 이용하여 노광하였다. MRPBI는 다른 노광기에 비하여 광원과 기판을 옮겨두는 스테이지 사이의 거리가 멀기 때문에 마스크를 통하여 감광제에 자외선이 입사될 때, 빛이 퍼지는

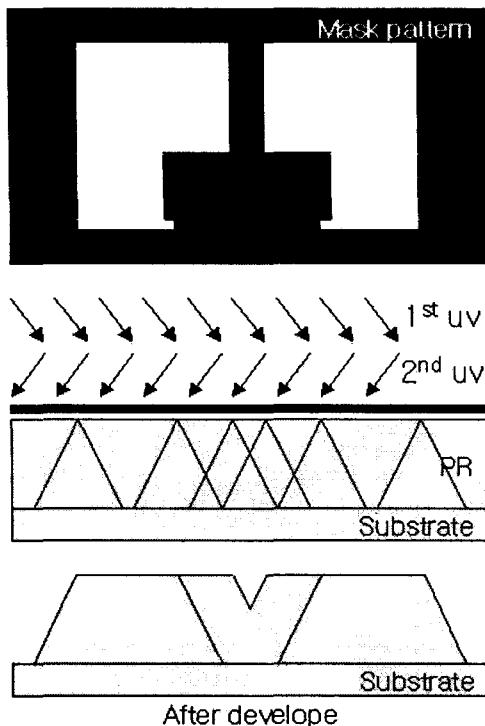


그림 4 감광제 V-groove 제작을 위한 노광 과정

Fig. 4 Lithography process for fabrication of Photoresist V-groove

성질을 줄일 수 있다. SU-8을 이용하여 500 μm 의 두께로 감광제를 도포하여 콜리메이팅 렌즈와 광섬유를 동시에 정렬할 수 있는 다중 규모의 V-groove 구조물을 그림 3과 같이 제작하였다. 수직 경사각은 20°, -20°이고 광섬유 정렬을 위한 좁은 부분과 콜리메이팅 렌즈의 정렬을 위한 넓은 부분의 마스크 폭은 각각 240 μm 과 1308 μm 이다. 수직경사각은 감광제에 입사되는 자외선의 입사각과는 차이가 있는데 이는 감광제에 입사된 빛의 굴절률이 되기 때문이다. 구조물의 수직 경사각은 자외선의 입사각과 감광제의 굴절률에 의하여 Snell's Law ($n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$)를 이용하여 계산이 되고, 각각의 폭을 요구되는 길이 이상으로 설계한 것은 감광제의 윗면과 마스크 사이의 간격으로 인하여 구조물 상단의 폭이 설계 값인 240 μm 과 1308 μm 보다 작게 제작되기 때문이다. 콜리메이팅 렌즈의 정렬을 위한 구조 앞에는 렌즈가 앞으로 밀리는 것을 막기 위한 턱이 있다. 그림 4는 공정 과정을 간단히 보여준다. 음성감광제를 이용할 경우, 마스크의 막힌 부분의 폭이 좁으면 현상 과정에서 제거되는 감광제의 깊이가 얕아지고 폭이 넓으면 깊게 감광제가 제거된다. 그러므로, 경사 노광을 수행하며, 이 때 사용되는 마스크 패턴의 폭을 조절하면 제작되는 구조물의 규모가 조절된다. 그림 3에서 폭이 좁게 파여진 부분이 미소가공 규모인 광섬유를 올려두기 위한 부분이고, 앞쪽의 넓은 부분은 기계가공 규모인 콜리메이팅 렌즈를 올려두기 위한 부분이다. 그림 4에서 위의 좁은 흄은 광섬유를 옮겨놓기 위하여 설계된 부분이고, 앞쪽의 넓은 부분은 콜리메이팅 렌즈를 옮겨놓기 위하여 설계된 부분이다. 마스크는 제작하려는 구조물의 규격과 사용하는 감광제의 굴절률, 동일 조건에서의 감광제와 마스크 사이의 간격, 경사 노광 각도를 바탕으로 설계된다. 감광제로 제작되는 V-groove는 실

리콘 V-groove에 비하여 V-groove의 각도를 선택할 수 있다는 장점이 있고, 실리콘으로 제작되는 V-groove는 별도로 제작된 후에, 기타의 소자가 있는 기판과 결합되어야 하는 단점과, 결합 과정에서 광 정렬 오차가 발생될 수 있다는 단점이 있는 반면, 감광제로 V-groove를 제작 할 경우 기타의 소자가 있는 기판에 제작이 가능하며 노광 시의 정렬 과정만으로 광 정렬 오차를 막을 수 있다는 장점이 있다.

2.3 후면 노광을 이용한 구조물의 제작

일반적으로 미소 구조물의 제작은 실리콘 기판을 바탕으로 이루어진다. 그러나 실리콘 기판을 사용하여 기존의 방법으로 경사 노광을 수행할 경우, 그림 5에 보여지는 것과 같이 감광제의 도포 두께의 오차, 감광제의 윗면과 마스크 사이의 간격 오차 등으로 인하여 노광 영역의 수평 이동에 의한 구조물 위치의 변경이 발생된다. 감광제의 노광을 위하여 유리 기판을 이용하여 후면을 노광하면 구조물을 만들 수 있다.[3][4] 본 논문에서는 유리 기판에 중착된 크롬층을 마스크로 이용하여 후면에서 노광을 하여 구조물을 만들 경우, 경사 노광에 의한 위치 변화가 제거되어 정확한 위치에 구조물을 만들 수 있음을 보였다. 다음은 마스크와 감광제 사이의 간격과 감광제의 도포 두께의 오차에 의한 기판 면에서의 구조물의 수평적인 위치의 변화를 나타낸다.

$$d = d_1 + d_2 = t_1 \tan \theta + t_2 \tan [\sin^{-1}(\frac{\sin \theta}{n})]$$

여기서 d 는 경사노광에 의한 기판과 구조물이 연결되는 위치의 수평 변위를 나타내며, d_1 은 마스크와 감광제 윗면의 간격에 의한 수평 변위를, d_2 는 감광제의 도포 두께 오차에 의한 수평 변위를 나타내고, t_1 은 마스크와 감광제 윗면의 간격을, t_2 는 감광제의 도포 두께 오차를, θ 와 n 은 각각 노광을 위한 빛의 입사각과 감광제의 굴절률을 나타낸다. 후면 노광으로 구조물을 제작할 경우에는 기판과 구조물의 접합면을 통하여 노광이 이루어지므로 기판과 구조물이 연결되는 위치의 수평 변위는 없다.

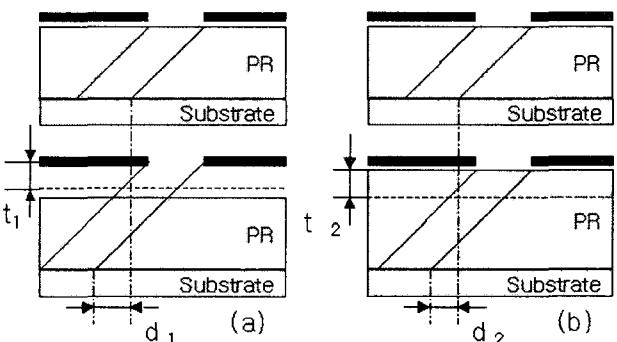


그림 5 (a) 감광제의 윗면과 마스크 사이의 간격 오차에 의한 위치 변화

(b) 감광제의 도포 두께 오차에 의한 위치 변화

Fig. 5 (a) mislocation by a gap between PR and mask

(b) mislocation by difference of PR thickness

그림 6은 후면 노광의 모식도이다. 기판으로는 Pyrex glass wafer를 사용하였고, 유리 기판에 크롬을 100nm의 두께로 증착 시킨 후, 원하는 부분의 크롬을 제거하였다. SU-8을 감광제로 하여, 150 μ m의 두께로 도포하였고, 노광기의 스테이지 위에 감광제가 도포된 면을 아래로 향하도록 위치시켜 노광을 하여, 노광에 사용되는 자외선이 유리 기판을 통하여 후면부터 감광제를 투과되도록 하였다. 별도의 마스크

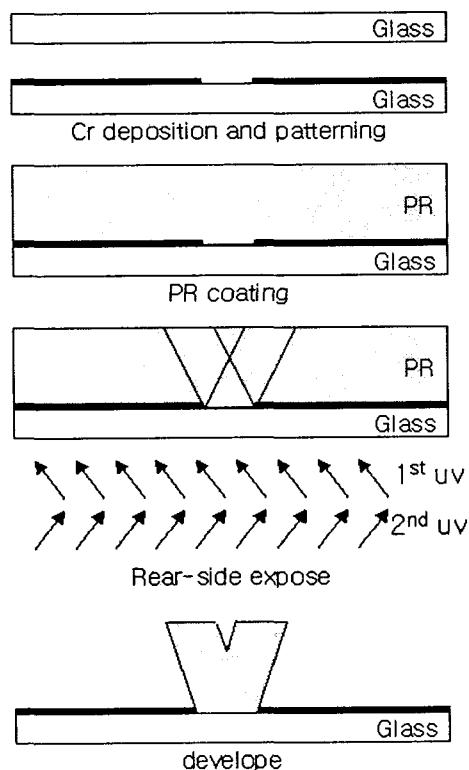


그림 6 후면 노광의 과정

Fig. 6 Process of rear-side expose

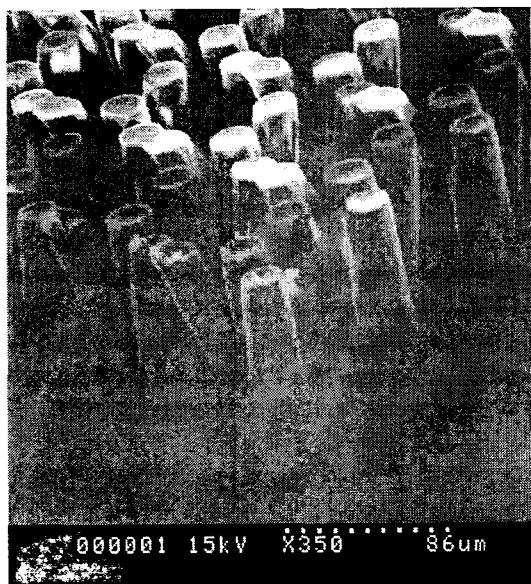


그림 7 후면 노광에 의한 구조물

Fig. 7 Structure by rear-side expose

는 사용하지 않았고, 유리 기판에 증착된 크롬 층이 마스크의 역할을 하였다. 노광은 수직으로 1회, 스테이지를 120°씩 회전 시키며, 경사 노광을 3회 수행하여 그림 7과 같은 구조를 얻었다. 120°씩 회전 시키며 노광을 수행할 때는 구조물이 각각 17°의 경사각을 갖도록 하였다. 실리콘을 기판으로 하여 기존의 방법으로 경사 노광을 할 경우 도포되는 감광제 두께의 오차와 도포된 감광제 윗면과 마스크 사이의 간격 오차 등의 원인으로 그림 5에 보여지는 것과 같이 기판의 정확한 지점에서 만들어지는 경사 구조물의 제작에는 어려움이 있다. 그림 7은 동일 지점에서 4개의 기둥이 올라와 있는 구조물이 배열된 모습이다. 유리 기판에 크롬(Cr)과 금(Au)을 증착하여 마스크 층(mask layer)으로 사용하고 노광기의 스테이지에 경사각을 준 상태에서, 회전시키며[2] 후면 노광을 수행하여 구조물을 만든 후, 전기도금(electro-plate)을 실시하면 그림 8과 같은 원뿔 형태의 마이크로 안테나 구조물을 얻을 것으로 예상된다.

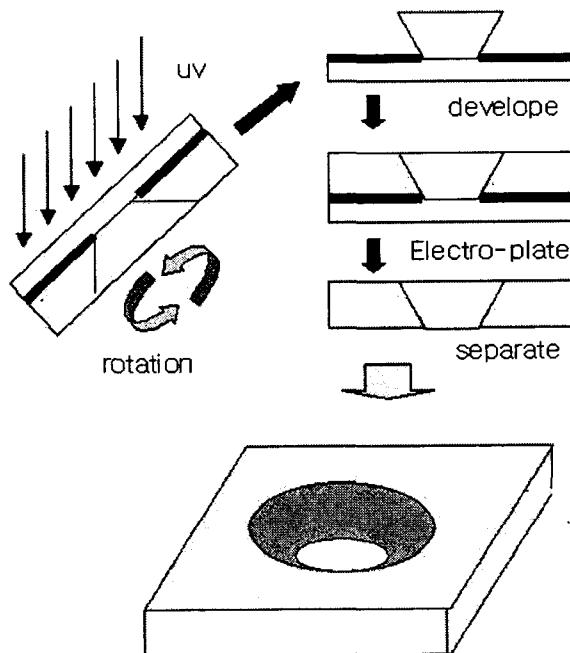


그림 8 안테나 제작 과정

Fig. 8 Fabrication process of micro antenna

3. 노광에서의 반사 효과의 제거

경사 노광의 수행 시에 가장 문제가 되는 것은 경사 입사된 빛의 기판 표면에서의 반사에 의한 노광이다. 경사각이 없이 노광을 할 경우에는 반사광에 의하여 노광되는 감광제의 영역이 처음에 입사하며 노광된 영역과 일치하므로 만들어지는 구조물의 형태에 영향이 크지 않으나, 경사 노광에서는 반사된 빛이 지나는 영역이 입사하는 빛이 지나는 영역과 다르므로 그림 9 (b)에 보여지는 것처럼 불필요한 부분의 노광이 발생된다. 본 논문에서는 경사 노광 과정에서 발생되는 기판 표면에서의 반사에 의한 노광의 효과를 제거하기 위해 두 가지 방법을 시도하였다. 첫 번째는 기판의 표면에 반사 방지막을 코팅 하였다. 일반적으로 유리에 사용되는 반사 방지막으로는 빙정석, sodium aluminum fluoride 화합물, 불화

마그네슘 등이 사용된다. 반사방지막의 두께는 파장/4 되도록 선택하며, 구조로는 <유리> - <고굴절률매질> - <저굴절률매질> - <공기>가 보편적으로 적용된다[7]. 공정의 편의상, 실리콘 기판에서의 자외선의 반사방지를 위하여 질화구조막(silicon nitride)을 단일 막으로 하여 파장/4의 두께로 실리콘에 증착하였다. 두께는 365 nm를 기준으로 하여 질화구조막 내에서의 굴절률 차이에 의한 파장 길이 감소와 30°의 각도로 노광되는 것을 실험 조건으로 하여 결정되었다. 이 경우 반사광은 그림10에 보여지는 것과 같이 질화구조막 표면에서 반사되는 빛과 질화구조막을 투과한 후에 실리콘의 표면에서 반사되어 다시 질화구조막을 투과한 후에 공기 중으로 방출되는 빛이 꽤 만큼의 위상차를 갖게 되어 서로 소멸 간섭을 일으켜 반사광이 제거된다. 질화구조막의 두께 이외에도 노광량 등의 조건에 의하여 반사의 효과가 결정이 되므로 정량적인 분석에는 어려움이 있으나, 경사 노광 각도를 30°를 기준으로 하여 반사방지막의 두께를 결정하였을 때, 경사 노광 시의 경사각이 15°에서 45° 범위에서는 반사에 의한 노광 효과가 제거되는 것을 확인하였다. 반사방지막을 위반 두 번째 방법으로 기판을 유리로 하는 방법을 적용하였다. 일반적인 유리의 반사율은 4%이므로 기판 표면에서의 반사에 의한 노광의 효과가 제거되는 것을 볼 수 있었다. 본 논문에서 시도한 노광 방법 중 하나인 후면 노광에서는 감광제를 투과한 빛이 공기 중으로 투과하므로 반사에 의한 노광 효과가 없었다. 그림 11은 반사방지막이 없는 실리콘 기판과 반사방지막이 있는 실리콘 기판에서의 구조물의 노광에 의한 형태의 차이를 보여주는 광학 현미경에 의한 사진이다.

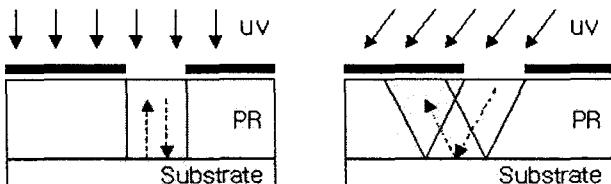


그림 9 (a) 수직 노광에서의 반사

(b) 경사 노광에서의 반사

Fig. 9 (a) Reflection of vertical exposure
(b) Reflection of inclined exposure

그림 10은 소멸간섭에 의한 반사광 제거 원리를 보여주는 회로도이다. 실리콘 기판 위에 질화구조막(Si_3N_4)이 증착된 상태에서, 두 개의 빛의 경로가 그림에 표시되어 있다. 첫 번째 빛은 질화구조막 표면에서 반사되는 빛으로, 두 번째 빛은 질화구조막을 투과한 뒤에 실리콘 표면에서 반사되는 빛이다. 두 빛의 경로가 같은 각도로 반대되는 경우, 두 빛의 위상차가 180°인 소멸간섭 현상을起こ하여 반사광이 제거된다.

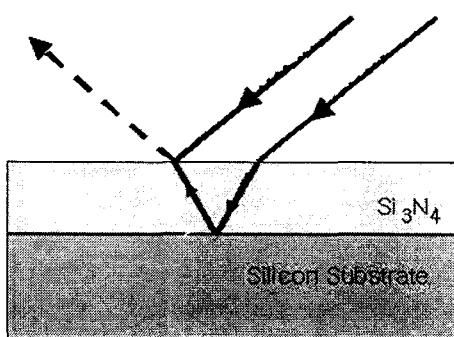


그림 10 소멸간섭에 의한 반사광 제거

Fig. 10 Elimination of reflection by destructive interference

다. 좌측의 사진에는 반사에 의한 구조가 나타난다. 구조물은 전체적으로 V모양을 나타낸다. 노광은 수직에서 좌측으로 경사각을 갖고 1회 수행되었는데 기판에서 반사된 빛에 의하여 감광제가 노광 되며, V모양을 갖게 되었다. 가운데의 오목한 부분이 기판에 부착된 부분이다. 그림 11의 우측은 경사 노광으로 제작된 구조물이 기판에서 분리된 것으로, 반사방지막 위에 만들어진 구조물이다. 각각 +30°와 -30°로 두 차례 경사 노광을 실시한 것인데 각각의 경사 노광에 의한 빛이 마스크의 동일한 부분으로 입사되어 구조물의 상단은 붙어있고, 하단은 두 갈래로 갈라진 모습을 보인다. 좌측 사진에는 보이는 기판 면에서의 반사에 의한 구조의 연장이 없다.

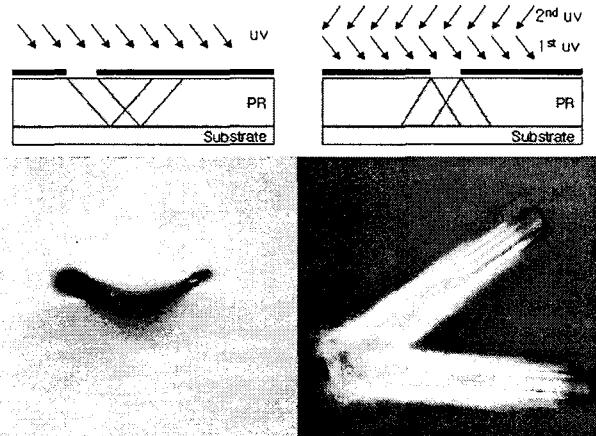


그림 11 반사방지막이 없는 경우와 있는 경우의 구조물

Fig. 11 Structure on bare silicon substrate and substrate that has antireflection layer

4. 결 론

MEMS 구조물의 형태 다양화를 위한 시도로, 선별적인 경사 노광을 적용하여 동일 기판에 다른 각도를 갖는 구조물을 만들었으며, MRPBI를 이용하여 기계 가공 규모와 미소 가공 규모를 동시에 갖는 구조물을 제작하여 미소 가공법만으로 기계 가공 규모의 구조까지 동시에 만들어 공정 상의 제약을 해결하였고, 경사 노광 시 발생되는 수평적 위치 변화를 제거하기 위한 방법인 후면 노광을 통하여 기판 상의 동일 지점에서 연결되는 다른 각도의 구조물을 제작하였다. 경사 노광에서 발생되는 반사광에 의한 노광 효과는 기판 표면에 질화구조막을 증착하거나, 유리 기판의 사용으로 제거하였다. 이러한 방법을 이용하여 MEMS 공정에 의한 구조물의 제작 가능 형태를 다양화 하였다.

참 고 문 헌

- [1] O Tabata et al, "Fabrication of 3-Dimensional Microstructures using Moving Mask Deep X-ray Lithography," MEMS'01, pp 94-97, 2001
- [2] Jong-Yeon Park, et al., "Fabrication of 3D MEMS antenna array structure for uncooled IR sensor using

- MRPBI system and plastic micromachining," ICEE '02 pp 1444-1448, 2002
- [3] Hironobu Sato, et al, "A Novel fabrication of in-channel 3-D micromesh structure using maskless multi-angle exposure and its microfilter application," IEEE Proc. MEMS 2003 pp. 223-226, 2003.
- [4] Yong-Kyu Yoon, et al, "Integrated vertical screen microfilter system using inclined SU-8 structures," IEEE Proc. MEMS 2003 pp. 227-230, 2003.
- [5] 김종오, 최연익, "실리콘의 비등방성 부식에 있어서 하부부식에 대한 실험적 고찰," 아주대학교 논문집 제10권 pp. 21-31, Feb. 1988.
- [6] Ehrfeld, W. Gotz, F. Munchmeyer, D. Schelb, W. Schmidt, D., "LIGA process: sensor construction techniques via X-ray lithography," Solid-State Sensor and Actuator Workshop, 1988. Technical Digest., IEEE , pp 1-4, Jun 1988
- [7] Eugene hecht, "Optics," Addison-Wesley, pp 420-421, 1998

저자 소개

이준섭 (李準燮)

1974년 2월 10일생. 2001년 한양대학교 물리학과 졸업. 2001년~현재 동대학원 물리학과 석사과정

Tel : (02) 2298-3280

Fax : (02) 2295-6868

E-mail : jenlil@hanmail.net



송석호 (宋錫虎)

1961년 10월 5일생. 1989년 한국과학기술원 물리학 박사. 현재 한양대학교 물리학과 부교수

Tel : (02) 2298-3280, Fax : (02) 2295-6868

E-mail : shsong@hanyang.ac.kr



신현준 (申鉉俊)

1971년 6월 21일생. 2000년 한국과학기술원 물리학 박사. 2002년~현재 한국과학기술연구원.

Tel : (02) 958-5778, Fax : (02) 968-6910

E-mail : kaiphy@kist.re.kr



김태업 (金台燁)

1976년 4월 23일생. 2002년 국립서울산업대학교 전자공학과 졸업. 2002년~연세대학교 전기전자공학과 석사과정

Tel : (02) 958-6758, Fax : (02) 968-6910

E-mail : taeyoup1000@hanmail.net



문성욱 (文盛昱)

1961년 12월 5일생. 1994년 연세대학교 반도체공학 박사. 현재 한국과학기술연구원 책임연구원

Tel : (02) 958-5776, Fax : (02) 968-6910

E-mail : s.moon@kist.re.kr

