

열처리에 의한 유리 마이크로 렌즈 제작

박광범, 김신주*

전자부품연구원 나노메카트로닉스연구센터, *유일광통신(주)

Fabrication of Glass Microlens using Thermal Reflow Method

Kwang Bum Park, Seon Ju Kim*

KETI Nano Mechatronics Research Center, *U-il Opticom Co., Ltd

Abstract - We have fabricated the pyrex glass microlens using thermal reflow process. Fabricated microlens is the plano convex refractive type and was fabricated with pyrex glass-Si anodic bonding wafer. The etched circle or cylindrical pyrex glass pattern was melted in a furnace 800°C to 900°C for about 15min. The surface roughness of the microlenses was measured by the AFM and average surface roughness of the microlenses was below 5.1nm. The radius of curvature of the microlens was measured with phase shift interferometer

위한 방법으로 본 실험에서는 유리 재료를 thermal reflow 방법을 이용하여 마이크로 렌즈를 제작함으로써 앞서 언급한 문제점을 해결할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

본 실험에서 마이크로 렌즈를 만들기 위해 사용된 유리 재료는 pyrex 유리를 사용하였다. Pyrex 유리는 실리콘과 열팽창계수가 거의 비슷하며, 비교적 저온에서 형상 변형이 용이하다는 특성과 함께 광투과 특성 또한 양호하기 때문에 본 실험에서 pyrex 유리를 사용하여 마이크로 렌즈를 제작하였다. Pyrex 유리를 사용한 마이크로 렌즈 제작 공정은 다음과 같다. 마이크로 렌즈로 사용될 0.5mm 두께 4" pyrex 기판을 anodic wafer bonding 기술로 실리콘 기판과 접합한 후 lapping 장비를 사용하여 마이크로 렌즈를 만들기 위해 계산된 두께로 접합된 pyrex 기판을 일정하게 갈아낸다. 마이크로 렌즈를 만들기 위한 유리 원형 패턴을 형성하기 위해 일정 두께로 갈아낸 유리 표면 위에 금속 또는 두꺼운 PR로 식각 마스크를 만들었다. 이렇게 식각 마스크가 준비된 pyrex 유리를 가공하기 위한 방법으로 본 실험에서는 샌드 블러스터(sand blaster)와 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma) 식각 방식을 이용하여 실리콘 기판 상에 유리 원형 패턴을 제작하였다.

1. 서 론

마이크로렌즈는 오늘날 광통신 및 머신비전 등의 다양한 분야에 적용되고 있다. 마이크로렌즈는 크게 굴절형과 회절형으로 크게 나눌 수 있다. 회절형 마이크로 렌즈의 경우 얇은 판 형태로 렌즈를 제작할 수 있다는 장점이 있으나 효율 측면에서 굴절형 보다는 다소 낮은 것이 사실이다. 회절형 마이크로렌즈에서 효율을 높이기 위한 방법으로 계단 또는 틈니 형태로 가공함으로써 효율을 높일 수 있는 방법들을 제안되고 있다. 그러나 렌즈를 가공하는데 있어서 매우 높은 가공 정밀도를 요구한다. 굴절형 마이크로렌즈의 경우 회절형 마이크로 렌즈보다 부피가 크다는 단점이 있으나 reflow 및 건식 식각 방법을 병행함으로써 마이크로 렌즈 제작이 비교적 쉽게 이루어질 수 있으며, 회절형 렌즈보다 큰 효율을 얻을 수 있다는 장점을 갖는다. 마이크로 렌즈 제작에 사용되는 재료로써 reflow가 용이한 포토레지스트와 같은 폴리머 재질을 이용하는 경우와 건식 식각이 가능한 실리카, 실리콘, GaAs와 같은 화합물 반도체 재료 등이 사용된다. 본 실험에서는 광통신 부품에서 광 결합 손실을 줄이기 위해 광섬유와 연결될 수 있는 크기의 마이크로 렌즈를 유리 재료와 thermal reflow 방법을 이용하여 설계 제작하였다. 기존의 thermal reflow 방법을 이용한 마이크로 렌즈 제작은 주로 포토레지스트 및 PMMA와 같은 폴리머를 이용하여 제작하는 경우가 많았다. 그러나 이와 같은 폴리머 재료의 경우 온도, 습도 등의 환경 신뢰성 및 기계적 강도 특성 측면에서 광통신 소자에 적용하기에는 취약하다는 문제점을 갖고 있다. 이러한 환경 신뢰성 및 기계적 강도 특성을 해결하기



그림 1 샌드블러스터에 의해 제작된 pyrex 원형 패턴

유도결합 플라즈마 식각에 사용된 주요 식각 가스로는 CFx 계열의 가스를 사용하였다. 그림 1에 샌드 블러스터로 제작된 pyrex 유리 원형 패턴을 나타내었다. 샌드 블러스터로 pyrex 유리 가공시 50um 두께의 DFR film를 사용하여 식각 마스크로 사용하였다.

Pyrex 유리 원형 패턴을 각각 샌드 블러스터와 유도 결합 플라즈마 식각 방법으로 각각 제작한 후 식각 마스크를 제거한 다음 기판 세정 공정을 수행하였다. 만약 기판 세정 공정시 유리 원형 패턴 상에 이물질이 충분히 제거되지 않으면 이물질 렌즈 표면에 남게 되어 렌즈 표면의 불량을 발생시키게 된다.

세정 공정이 끝난 기판은 튜브 furnace를 사용하여 pyrex 유리 원형 패턴이 thermal reflow 되어 마이크로 렌즈 형상이 만들어질 수 있도록 하였다. pyrex 유리 원형 패턴이 형성된 실리콘 기판 상에 pyrex 유리가 thermal reflow 될 수 있도록 하기 위해 튜브 furnace의 내부의 온도를 800~900℃로 유지하였으며, 튜브 furnace 내에서 thermal reflow에 소요된 시간은 15분 정도였다. 그림 2와 3에 각각 샌드 블러스터와 유도 결합 플라즈마 식각에 의해 제작된 pyrex 유리 원형 패턴을 thermal reflow에 의해 제작된 마이크로 렌즈의 전자현미경 사진을 나타내었다. 그림 3은 직경 100µm의 마이크로 렌즈의 전자현미경 사진을 나타내었다. 그림 4는 그림 3에서 pyrex 유리 마이크로 렌즈와 Si 기판이 접합된 경계면 가장자리 부분을 확대한 것으로 pyrex 유리 건식 식각 과정에서 유리 기판의 아래쪽 실리콘 기판까지 식각 되었음을 확인할 수 있었다.

실리콘 over etching 정도는 2µm 정도였으며, 표면이 거칠게 가공된 lapped 유리 표면을 그대로 사용하여 건식 식각을 하였기 때문에 불규칙적인 가장자리가 만들어졌으며, lapped 유리 기판을 CMP 공정과 같은 표면 연마 공정을 통해 표면 거칠기를 개선한다면 불규칙적인 가장자리 형성을 개선할 수 있을 것이다.

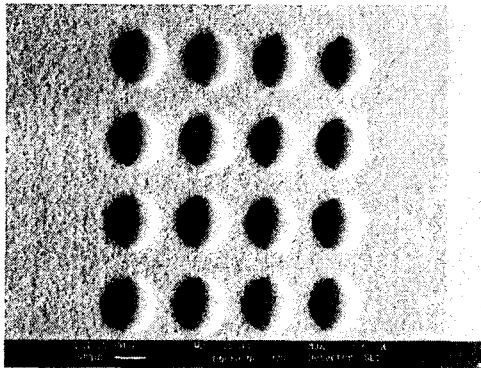


그림 2 제작된 pyrex 유리 마이크로 렌즈

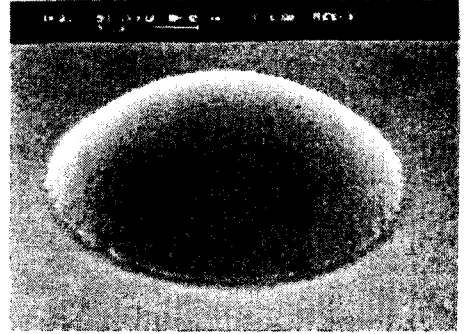


그림 3 제작된 pyrex 유리 마이크로 렌즈

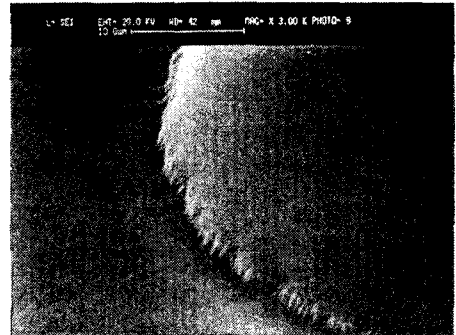


그림 4 제작된 마이크로 렌즈의 가장자리 확대 SEM 사진

그림 4에서 제작된 유리 마이크로 렌즈의 가장자리가 불규칙적으로 형성 되었음에도 불구하고 전체적인 마이크로 렌즈의 구면 형상에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 그림 5에 마이크로 렌즈의 표면 거칠기를 확인하기 위해 AFM (Atomic Force Microscope) 사용하여 측정된 결과를 나타내었다.

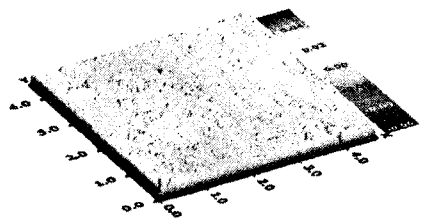
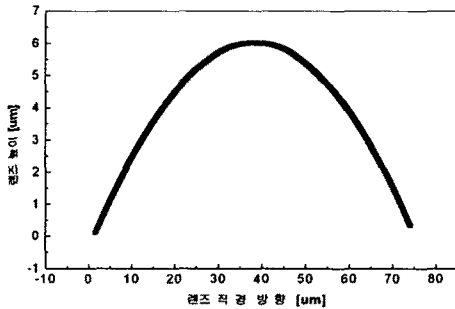
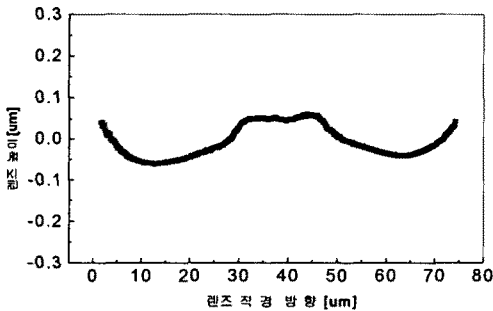


그림 5 Pyrex 유리 마이크로렌즈의 표면 AFM 측정 결과

AFM을 사용하여 제작된 유리 마이크로 렌즈 중앙 부분의 표면에 대해서 거칠기를 측정한 결과 평균 표면 거칠기는 5.1nm 이하로 나타났다. 이와 같은 정도의 표면 거칠기를 갖는 마이크로 렌즈 표면에 파장 1550nm인 광원이 지나가는 경우 렌즈 표면에서 광 산란에 의한 광 손실이 0.17% 이하로 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 thermal reflow 방법으로 제작된 pyrex 유리 마이크로 렌즈가 광 통신 부품 및 기타 광학 소자에 충분히 적용할 수 있을 것으로 기대된다.



(a)



(b)

그림 6. 마이크로렌즈의 렌즈의 (a)곡면 형상 (b)구형 렌즈의 형상 오차

그림 6은 광 간섭계(phase shift interferometer)를 이용하여 제작된 유리 마이크로 렌즈의 3차원 형상을 측정하여 렌즈 중심에 대해서 가로축 단면에 대한 마이크로 렌즈의 형상을 나타내었으며 또한 측정된 렌즈의 형상과 구형 렌즈에 대한 형상 오차를 나타내었다.

마이크로 렌즈의 3차원 형상에서 렌즈 중심 부분을 지나는 가로축과 세로축에 대한 형상을 측정결과 가로축과 세로축에 대해서 거의 동일한 크기의 곡률 반경을 갖는 것으로 나타났으며, 마이크로 렌즈의 형상오차 또한 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 이내 결과를 얻었다.

3. 결 론

Pyrex 유리 기판을 사용하여 anodic wafer bonding, 샌드 블러스터, 유도 결합 식각 및 thermal reflow 공정을 각각 이용하여 굴절형 마이크로렌즈를 제작하였다. 제작된 마이크로 렌즈의 표면 형상을 전자현미경, AFM 및 광 간섭계를 사용하여 측정한 결과 평균 표면 거칠기가 5.1nm 이하로 측정되었으며 또한 마이크로 렌즈 형상이 광축에 대해서 대칭성이 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 본 실험에서 제작된 pyrex 유리 마이크로 렌즈가 광학 소자에 적용하는데 있어서 온도 및 습도 등의 환경 변화에서 높은 신뢰성과 함께 비교적 큰 기계적인 강도 제공함으로써 기존의 폴리머 마이크로 렌즈의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1]Y.A.Peter, H.P.Herzing, R.Dandiker, "Microoptical Fiber Switch for a Large Number of Interconnects", IEEE, Vol 8, No 1, 46-57, 2002
- [2]K. Y. Lau, Circuit & Devices, 11-18, July 1999.