

초정밀 기계가공 기반의 스캐닝용 마이크로 하이브리드 렌즈의 제작 Fabrication of Ultraprecision machining based micro-hybrid lens for scanning

*유동윤¹, #이선규², 이차범²

* D.Y.Yoo¹, #S.K.Lee(skyee@gist.ac.kr)², C.B.Lee² (chabum2@gmail.com)

¹광주과학기술원 기전공학부, ²LG 디스플레이 광기술사업부

Key words : micro lens, hot embossing, hybrid lens machining, ultra precision machining

1. 서론

최근 휴대용 정보기기의 소형화로 구성요소의 소형화, 초박형으로 발전하고 있다. 광학 시스템 또한 LED를 사용한 소형 프로젝터, 마우스 스캐너 등의 초박형 시스템으로 발전하고 있다. 이 시스템의 구성 요소 중 결상렌즈의 초박형화를 구현하기 위해서 얇고 가볍고 싸고 대량 생산이 가능한 회절 렌즈가 유리하다. 하지만, 회절렌즈는 큰 색수차를 보여 결상렌즈로서 불리하다. 이 점은 굴절과 회절 특성을 동시에 고려한 하이브리드 렌즈를 사용하면 보완이 가능하다.⁽¹⁾ 또한 이런 초박형 시스템에 사용하는 렌즈 설계를 구현을 위해서 초정밀 가공이 필요하다. 보통 MEMS가공으로 효율이 높은 멀티레벨 프레넬 렌즈를 만들어 초박형 렌즈 구현이 가능하다.⁽²⁾ 그러나 MEMS 가공은 곡면 가공이 불가하고 장비에 따른 정렬오차에 따른 멀티 레벨 렌즈의 제작상 어려움이 있어 초정밀 기계가공을 기반으로 설계 및 제작을 접근할 필요가 있다.

본 연구에서는 초박형 광학 시스템에 사용될 마이크로 렌즈를 굴절-회절 특성을 고려한 하이브리드 렌즈로 설계하고 초정밀 기계가공의 가공한계를 설계에 적용하여 단일렌즈가 갖는 결상면적을 최대한 넓혀 구현하였다. 또한, 핫엠보싱(Hot embossing)의 열전사 방식으로 렌즈를 성형하여 마이크로 하이브리드 렌즈의 구현을 확인하였다.

2. 하이브리드 렌즈의 설계

설계할 하이브리드 렌즈는 직경 500 μ m, 초점 거리 300 μ m을 목표로 하고 PMMA (index=1.4985)로 만들고자 하였다. 또한 468nm의 LED광원이 사용되는 초박형 시스템을 기준으로 설계하였다. 하이브리드 렌즈는 이중 렌즈로 적용하여, 두 렌즈 면의 굴절특성은 Code V의 황수차보정함수를 사용하여

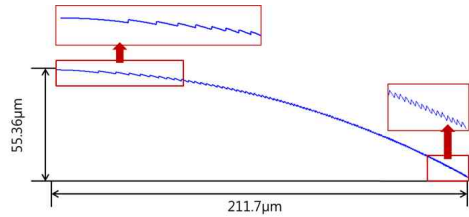


Fig. 1 Designed micro-hybrid lens

최적화하였다. 렌즈의 프레넬 면은 modulus function (MOD)을 사용하여⁽³⁾ 렌즈의 한 면을 프레넬 면으로 변환하였다. 회절 특성은 RCWA (Rigorous Coupled-Wave Analysis)를 적용하여 프레넬 패턴의 깊이와 주기에 따른 회절효율을 관찰하였고, 깊이 0.94 μ m일 때, 최고 회절효율을 보여 이를 적용했다.

렌즈를 초정밀 기계가공으로 가공하려면, 공구한계를 적용하여야 한다. 공구의 Window각, Flank각이 공구간섭을 일으키는 주요한 요인으로 설계에는 각각 30도, 15도의 V형상의 다이아몬드 공구를 사용하였다. 이를 적용하였을 때 가공 가능한 하이브리드 렌즈의 최대 직경은 423.4 μ m이다.

3. 하이브리드 렌즈 제작

렌즈를 제작할 때, Nanometer의 움직임 구현이 가능한 JTEKT의 5축 장비 AHN-15를 사용하였다. 렌즈는 핫엠보싱으로 성형할 때 내구성이 좋은 무전해니켈을 도금한 무산소동 위에 제작되었다. 렌즈를 가공할 때 사용하는 다이아몬드 공구가 V 형상을 하고 있고 R이 1 μ m 이하로 작기 때문에 렌즈의 표면 조도를 높이기 위해서 낮은 이송 속도 (Feed rate)에 높지 않은 RPM을 선택하여야 한다. 그래서 렌즈는 1000 RPM, 0.05 mm/min, Depth of Cut 1 μ m의 조건에서 제작되었다. 가공 결과는 Fig2에서 확인할 수 있다. 가공 시에 칩이 잘 배출되도록 미스트의 위치를 조정하여야 하는데, 조정을 잘

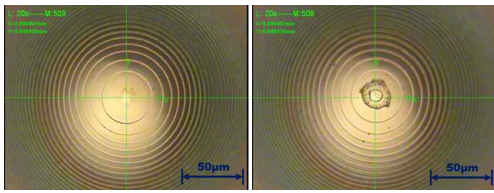


Fig. 2 Fabricated micro-hybrid lens; (a) well fabricated, (b) not eliminated chip on the lens

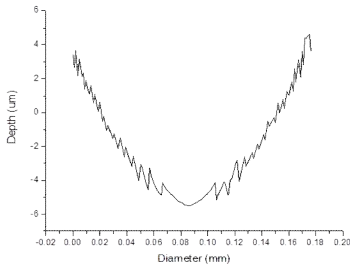


Fig. 3 Measurement result of hybrid lens with Newview600

못하게 될 경우 (b)와 같이 칩이 렌즈 몰드에 남게 된다. 미스트의 위치를 배출을 용이하게 하여 가공하면 Fig.2(a)와 같은 제작 결과를 얻을 수 있었다.

제작된 렌즈 몰드의 측정을 위해 현미경과 백색광 현미경 Newview600을 사용하였다. 측정된 직경은 423.14 µm로 설계한 값과 거의 동일하였다. 백색광 현미경은 설계대로 가공이 되었는지 형상을 확인하려고 사용하였고 결과는 Fig.3과 같다. 백색광 현미경으로 경사면 측정할 때 정확한 측정값을 얻기 힘들지만, 형상 구형을 확인할 수 있었다.

4. 하이브리드 렌즈 성형

렌즈의 성형을 위해서 마이크로 패턴까지 잘 전사시킬 수 있는 열전사(Thermal imprint)방식 중 핫 엠보싱(Hot Embossing) 공정을 사용하였다. 이 공정은 렌즈몰드의 온도를 플라스틱의 유리화 온도까지 온도를 올리고 일정압력과 일정온도를 일정시간 동안 인가하여 냉각시켜 물딩한다.⁽⁴⁾ 실험에서는 Fig.2(b) 몰드를 사용하여 PMMA를 넣고 160°C와 2.55MPa의 압력을 15분동안 유지할 때 패턴 전사가 가장 잘 됨을 확인하였다. Fig.4와 같이 패턴이 전사되었음을 확인하였다. 이 몰드 샘플로 470nm의 LD를 사용하여 초점을 측정한 결과 310µm로 설계한 값과 오차가 얼마 없음을 확인하였다.

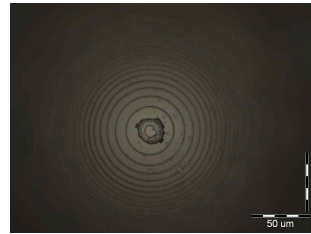


Fig. 4 Result of hot embossing process with micro-hybrid lens

4. 결론

초박형 광학 시스템이 요구하는 마이크로 하이브리드렌즈의 설계를 하고, 초정밀 기계가공으로 렌즈의 구현하였다. 가공한 미세패턴의 정확한 형상 측정이 어려워 이 부분은 남은 과제이다. 그리고 핫엠보싱 공정으로 마이크로 렌즈의 패턴 전사를 위한 조건을 실험하여 패턴 전사가 잘 되었음을 확인하였다. 성형된 렌즈는 설계 값에 가까운 310 µm의 초점거리임을 구하였다.

후기

본 연구는 GIST 솔라에너지연구소 차세대 태양전지 기술 개발 및 연구기반 구축사업의 지원과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20120006271).

참고문헌

1. D.W. Sweeney, G.E. Sommargren, "Harmonic Diffractive Lenses", Appl. Opt. Vol. 34, No.14, 2469-2475.
2. D.K.Woo, K.Hane, S.K.Lee, "Fabrication of a multi-level lens using independent-exposure lithography and FAB plasma etching", J.Opt.A. Pure Appl. Opt 10(2008) 044001(6pp)
3. J.Yan, K.Maekawa, J.Tamaki, T.Kuriyagawa, "Micro grooving on single-crystal germanium for infrared Fresnel lenses", J.Micromech.Microeng. 15(2005) 1925-1931.
4. C.B.Lee, T.Kuriyagawa, D.K.Woo, S.K.Lee, "Optimizing the fabrication process of a high-efficiency blazed grating through diamond scribing and molding", J.Micromech.Microeng. 20(2010) 055028(7pp)