

유리 마이크로 렌즈 어레이 성형을 위한 유리 마이크로 성형 공정 최적화 Optimization of Glass Micro Molding Process for Glass Microlens Arrays

배형대*, 최민석*, 강신일†

Hyungdae Bae, Minseok Choi and Shinill Kang

Abstract

Glass micro molding process is the most suitable process for fabricating high precision glass microlens array at low cost. A new glass micro molding process was proposed. Tungsten carbide mold was fabricated by imprinting and sintering process to overcome the difficulties of the conventional process. In the glass micro molding process, process conditions such as processing temperature and compression force were changed. Geometrical properties of the replicated glass microlens array were measured and compared at variety process conditions. The condition of glass micro molding process was optimized. The experimental result showed that developed process was effective to produce a glass microlens array.

Key Words : 유리 마이크로 렌즈 어레이 (glass microlens array), 텅스텐 카바이드 몰드 (tungsten carbide mold), 유리 마이크로 성형 공정 (glass micro molding process)

1. 서 론

현재 대부분의 마이크로 렌즈 어레이는 사출성형, Hot-embossing, micro UV-molding 등의 폴리머 복제 공정을 이용하여 제작된다. 그리고 정보저장기기, 광통신, 디스플레이 등의 분야에서 마이크로 렌즈에 대한 수요가 증가하는 추세에 있다. 그러나 정보저장기기의 대물렌즈와 같이 우수한 광학 특성이 요구되는 경우 및 Projection engine에 사용되는 fly-eye lens와 같이 높은 내환경성이 요구되는 분야의 경우 폴리머 마이크로 렌즈의 적용이 어려운 실정이다. 이러한 경우 높은 광특성, 낮은 열팽창률 및 내 환경성이 요구되어 유리 재료의 마이크로 렌즈 제작기술이 필수적으로 요구되며 현재 photoresist (PR)를 이용하여 제작된 마

이크로 렌즈 패턴을 RIE 등과 같은 방법을 이용하여 유리 재료에 전사시키는 transfer 공정을 이용한 유리 마이크로 렌즈 제작법 [1]과 직접가공을 통한 제작법 [2]이 주로 이용되고 있다. 그러나 transfer 공정은 공정 조건에 대한 민감도가 높아 생산성 및 재현성이 중요한 경우 적용이 어려운 단점을 갖는다. 반면 유리 마이크로 성형 공정의 경우 고정밀도로 제작된 몰드를 이용한 복제 공정으로 높은 생산성 및 재현성을 갖는 고정도 유리 광부품의 제작에 매우 적합하다 [3]. 유리 마이크로 성형 공정을 이용한 마이크로 렌즈 제작에 있어 몰드의 제작은 매우 중요하다. 유리 마이크로 성형 공정은 고온/고압 공정으로 고온 경도가 높은 몰드 재료가 요구되며 텅스텐 카바이드 재료가 주로 이용 [4]되며 주로 직접 가공을 통해 몰드 제작이 이루어지고 있다 [5]. 그러나 텅스텐 카바이드 직접가공의 경우 100 μm 이하의 렌즈 케비티 제작이 어려우며 어레이 형태의 케비티 제작에 적합하지 않은 단점을 갖는다. Kang et al.은 유리 마이크로 성형 공정을 이용한 마이크로 렌즈 어레이 제작을 위해 실리콘 마스터 패턴을 이용

* 연세대학교 기계공학과

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : snlkang@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-2829 FAX : (02)362-2736

논문접수일(2006년 11월 15일)

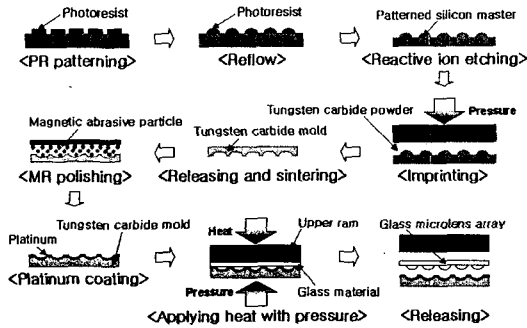


Fig. 1. Schematic diagram of the proposed glass micro molding process, which consists of (a) master fabrication, (b) WC mold fabrication using imprinting and sintering process, and (c) glass microlens array fabrication by glass micro molding process.

한 imprinting 및 sintering 공정을 이용하여 마이크로 렌즈 어레이 캐비티를 갖는 텅스텐 카바이드 몰드 제작법을 제안하였다 [6].

본 연구에서는 유리 마이크로 렌즈 어레이의 제작을 위해 imprinting 및 sintering 공정을 통해 직경 36 μm 의 마이크로 렌즈 어레이 형상 캐비티를 갖는 텅스텐 카바이드 몰드를 제작하였다. 그리고 유리 마이크로 성형 공정에 있어 공정 변수의 성형품에 대한 영향을 평가하였다. 최종적으로 성형된 렌즈의 기하학적 특성을 분석함으로써 유리 마이크로 렌즈 어레이 제작에 있어 본 공정의 가능성을 평가하였다.

2. 실험 방법 및 결과

본 연구에서는 높은 광학 특성과 내환경성이 요구되는 분야에 적용 가능한 유리 마이크로 렌즈



Fig. 2 SEM image of (a) the patterned silicon master with a microlens diameter of 48 μm , a sag height of 4.7 μm , a pitch of 330 μm and a surface roughness (R_a) of 3.5 nm, and (b) the fabricated WC mold with microlens cavities: a microlens diameter of 36 μm , a sag height of 3.6 μm , a pitch of 250 μm and a surface roughness (R_a) of 53 nm.

어레이의 제작을 위해 그림 1 과 같은 새로운 공정을 제시하고 연구를 진행하였다.

2.1 실리콘 마스터 제작

먼저 그림 1 에서와 같이 PR patterning 및 reflow 공정 [7]을 이용하여 폴리머 마이크로 렌즈 어레이를 제작하였다. propylene glycol monomethyl ethyl acetate (PGMEA)를 베이스로한 positive PR 를 이용하였고 reflow 공정은 170 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30 분간 진행하였다. 폴리머 마이크로 렌즈 어레이 제작 후 RIE 공정 [1]을 이용하여 폴리머 마이크로 렌즈 형상을 실리콘 기판에 transfer 하여 실리콘 마스터를 제작하였다. RIE 공정을 이용한 transfer 공정시 PR 과 실리콘 간의 식각비를 1:1 로 제어하고자 본 연구에서는 실험적 최적화 기법을 이용하여 chamber pressure 55mtorr, RF power 150W, SF6 gas flow rate 55sccm, O2 gas flow rate 5sccm 에서 etching rate 60nm/min 의 1:1 식각 공정을 확보 하였다. 그림 2(a)에서 제작된 직경 48 μm 의 실리콘 마스터의 표면 형상을 확인할 수 있다.

2.2 텅스텐 카바이드 몰드 제작

텅스텐 카바이드 몰드는 그림 1(b)에서와 같은 공정을 이용하여 제작되었다. 제작된 실리콘 마스터 상에 텅스텐 카바이드 (WC)와 코발트 (Co)에 결합제가 첨가되어 있는 ready to press (RTP) 파우더를 이용하여 imprinting 공정을 진행하고 산화방지를 위해 진공분위기 속에서 소결공정 (sintering) [8]을 진행하였다. 사용된 RTP 파우더는 평균 입자 크기가 0.5 μm 인 UF12 (WC 87.5, Co 12%, other 0.5, TaeguTec Ltd.)이다. 소결공정은 먼저 350 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10 시간 동안 pre sintering 공정을 통해 결합제를 제거하였으며 이후 1400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 50 분간 소결공정이 진행되었다. 소결공정으로 제작된 텅스텐 카바이드 몰드의 경우 소결공정 시 발생하는 수축에 의해 약 24%의 등방성 수축이 발생하며 비교적 큰 표면 거칠기 값을 갖는다. 따라서 텅스텐 카바이드 몰드의 표면 조도 향상을 위해 형상에는 영향을 주지 않고 표면 조도만 향상이 가능한 magneto-rheological (MR) abrasive polishing 공정 [9]이 적용되었다. 최종적으로 유리 마이크로 성형 공정시 발생하는 점착현상의 제어를 위해 백금을 코팅 (coating) [10]함으로써 최종 텅스텐 카바이드 몰드를 제작하였다. 그림 2(b)는 직경 36 μm 의 최종 제작된 텅스텐 카바이드 몰드의 scanning electron microscopy (SEM) 사진이다.

2.3 유리 마이크로 렌즈 어레이 제작

유리 마이크로 렌즈 어레이를 제작하기 위하여

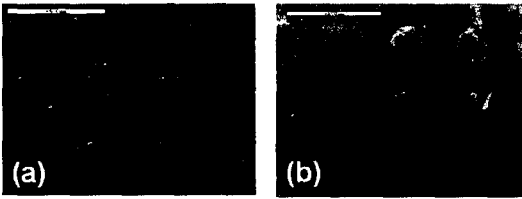


Fig. 3. SEM image of defects of glass molded microlens array (a) unfilling and (b) crack.

유리 마이크로 성형기가 사용되었다. 유리 마이크로 성형기는 압축력 전달 부, 텅스텐 카바이드 몰드, 텅스텐 카바이드를 위한 지그 (jig), 적외선 히터, load cell 및 온도 센서로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 유리재료는 Sumita Optical Glass 사의 K-PSK100 으로 유리전이온도는 390℃ 이고 연화점은 415℃ 이며 10mm x 10mm x 3mm 로 잘라져 이용되었다. 유리재료는 그림 1 에서 보여지는 바와 같이 텅스텐 카바이드 몰드 상에 놓여졌다. 유리 마이크로 성형 중 유리 재료의 수축을 감소 시키고자 2 단계 압축 방법 [11]이 이용되었으며 이 방법은 연화점 부근에서 성형공정을 진행한 후 유리전이 온도 부근에서 다시 성형 공정을 진행하는 것이다.

유리 마이크로 성형 공정에서 인가 압력 및 공정온도는 중요한 공정 변수이다. 그림 3(a)는 낮은 공정 온도 및 인가 압력으로 인해 유리 재료가 몰드 캐비티 내로 완전히 충전되지 못해 생긴 미성형 결함을 보여주며 그림 3(b)는 공정시 높은 인가 압력에 따른 유리 재료의 깨짐 결함이다. 이처럼 유리 마이크로 성형 공정에서는 인가 압력 및 공정 온도에 의해 결함이 발생할 수 있으므로 이의 적절한 제어가 매우 중요하다. 본 연구에서는 다양한 공정 온도 및 인가 압력 조건에서 유리

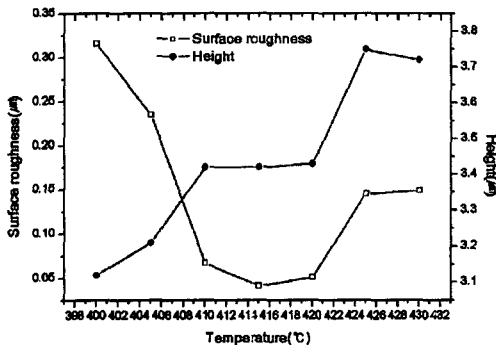


Fig. 4 Effects of varying the processing temperature on the sag height and surface roughness of microlenses replicated with a compression force of 50 kgf.

마이크로 렌즈 어레이를 성형하고 높이 및 표면 거칠기를 mechanical profiler 인 Dektak 6M 과 atomic force microscopy (AFM)을 이용하여 측정하였다. 제작된 유리 마이크로 렌즈 어레이는 광부품으로 사용되어짐으로 높이와 같은 형상과 빛의 산란을 유발시키는 표면 거칠기가 매우 중요하기 때문이다. 먼저 인가 압력을 50~200kgf 로 하고 공정 온도를 415℃로 하여 유리 마이크로 렌즈 어레이를 제작하였다. 이 경우 비슷한 질의 유리 마이크로 렌즈 어레이가 제작되었다. 이러한 이유로 유리 마이크로 성형기의 수명에 줄일 수 있는 높은 인가 압력 보다는 낮은 인가 압력인 50kgf 를 이용하였다. 그림 4 는 인가 압력이 50kgf 일 때 다양한 공정 온도에서 제작된 유리 마이크로 렌즈의 높이 및 표면 거칠기 측정 결과이다. 먼저 그림 4 의 높이 측정 결과에서 공정 온도가 410℃ 미만인 경우 유리 재료가 몰드 캐비티 내로 완전히 채워 들어가지 않음을 알 수 있다. 공정 온도가 변함에 따라 표면 거칠기가 변화함을 그림 4 에서 확인할 수 있다. 공정 온도 범위 410℃에서 420℃ 내에서는 비슷한 높이의 유리 마이크로 렌즈 어레이를 성형할 수 있었다. 하지만 공정 온도가 415℃인 경우 표면 거칠기가 가장 우수한 성형품이 얻어짐을 알 수 있다. 공정 온도가 420℃를 초과할 경우에는 유리 재료와 몰드 표면사이에 접촉이 발생하여 성형된 유리 렌즈 어레이의 높이가 증가하며 표면 거칠기 또한 상승한다. 이러한 성형품의 측정 결과로 부터 최적 성형 공정 조건을 인가 압력 50kgf, 공정 온도 415℃로 확립하였다. 최적 성형 공정 조건인 인가 압력 50kgf, 공정 온도 415℃에서 유리 마이크로 렌즈 어레이가 제작되었으며 성형된 유리 마이크로 렌즈의 높이는 3.42 μm (표준편차: 0.034 μm), 직경은 36.02 μm (표준편차: 0.14 μm). 그림 5 는 최적 성형 공정 조건에서 제작된 유리 마이크로 렌즈 어레이의 SEM 사진 및 현미경 사진이다.

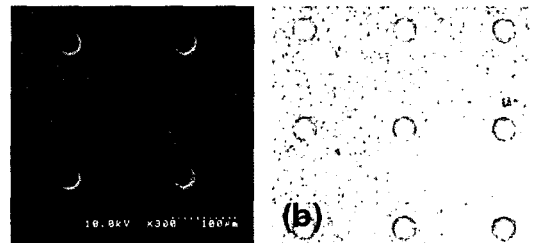


Fig. 5. (a) SEM and (b) microscope image of the glass micro molded microlens array with a diameter of 36 μm, a sag height of 3.42 μm.

3. 결론

본 연구에서는 유리 마이크로 렌즈 성형 공정을 제안하고 이를 이용 유리 마이크로 렌즈 어레이를 제작하여 그 가능성을 보였다. 본 연구에서 마이크로 렌즈 형사의 캐비티를 지닌 텅스텐 카바이드 몰드는 imprinting 과 sintering 공정으로 제작되었다. 유리 마이크로 렌즈 어레이를 제작하기 위하여 2 단계 압축방법을 사용하였고 다양한 공정 온도 및 인가 압력에서 성형된 유리 마이크로 렌즈를 측정하였다. 그리고 측정 결과의 분석을 통하여 최적의 공정조건을 도출하였다. 이러한 최적공정에서 성형된 유리 마이크로 렌즈 어레이의 측정을 통해 본 연구에서 제안된 공정으로 유리 마이크로 렌즈 어레이를 제작하고 광부품으로 사용할 수 있음을 보였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21 세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010005-06K1401-00530)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] M. Severi and P. Mottier, 1999, "Etching selectivity control during resist pattern transfer into silica for the fabrication of microlenses with reduced spherical aberration", *Optical Engineering*, Vol.38, pp.146-150

[2] M. Zhou and B. K. A. Ngop, 2003, "Factors affecting form accuracy in diamond turning of optical components", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.138, pp.586-589

[3] Y. Aono, M. Negishi and J. Takano, 2000, "Development of large aperture aspherical lens with glass molding", *Proceedings of SPIE*, Vol.4231, pp.16-23

[4] H. O. Andren, 2001, "Microstructures of cemented carbides", *Materials and Design*, Vol.22, pp.491-498

[5] Y. Kojima, 2005, "Grinding technology of aspheric molds for glass-molding", *Optifab 2005, Technical Digest of SPIE*, TD03, pp.44-46

[6] W. Choi, J. Lee, W. B. Kim, B. K. Min, S. Kang and S. J. Lee, 2004, "Design and fabrication of tungsten carbide mould with micro patterns imprinted by micro lithography", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.14, pp.1519-1525

[7] S. Moon, N. Lee, and S. Kang, 2003, "Fabrication of a microlens array using a micro-compression molding with an electroformed mold insert", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.13, pp.98-103

[8] C. H. Allibert, 2001, "Sintering features of cemented carbides WC-Co processed from fine powders", *International journal of refractory metals and hard materials*, Vol.19, pp.53-61

[9] W. Lin, H. Ohmori, N. Itoh, J. Qian and M. Anzai, 2001, "Potential of micro fabrication by magnetic polishing for surface quality control", *RIKEN Review*, No.34, pp.35-37

[10] G. Kleer and W. Doell, 1997, "Ceramic multilayer coatings for glass moulding applications", *Surface and Coating Technology*, Vol.94-95, pp.647-651

[11] M. Katsuki and T. Kamano, 2001, "High-precision optical glass molding", *High Precision Machine Division, Toshiba Machine Co. Ltd., Japan*