

엠보싱 공법에 의한 카메라 모듈용 광학렌즈 성형기법에 대한 연구

이정희¹·진영수¹·노정은¹·김성화¹·장인철[#]

Fabrication of the Imaging Lens for Mobile Camera using Embossing Method

C. H. Lee, Y. S. Jin, J. E. Noh, S. H. Kim, I. C. Jang

Abstract

We have developed a compact and cost-effective camera module on the basis of wafer-scale replication technology. A multiple-layered structure of several aspheric lenses in a mobile camera module is first assembled by bonding multiple glass-wafers on which 2-dimensional replica arrays of identical aspheric lenses are UV-embossed, followed by dicing the stacked wafers and packaging them with image sensor chips. We have demonstrated a VGA camera module fabricated by the wafer-scale replication processing with various UV-curable polymers having refractive indices between 1.4 and 1.6, and with three different glass-wafers of which both surfaces are embossed as aspheric lenses having 200 um sag-height and aspheric-coefficients of lens polynomials up to tenth-order. We have found that precise compensation in material shrinkage of the polymer materials is one of the most technical challenges, in order to achieve a higher resolution in wafer-scaled lenses for mobile camera modules.

Key Words : mobile camera module, UV embossing, wafer-scale replication, photo-polymer

1. 서 론

휴대폰 시장에서 카메라 폰이 장착된 휴대폰의 수요가 늘어가고 있다. 2000 년 11 월 일본의 J-phone 사에서 '샤메일(Sha-mail)' 이라는 카메라 폰이 등장한 이래 카메라 폰 사용자 가 늘어나고 있으며, 03 년 12 월에는 국내시장 에서 판매된 카메라 폰의 비중이 80%에 육박하는 수준이었으며 07 년 3 월은 특수기종을 제외하고는 대부분의 핸드폰에 카메라가 장착되어 있다.

CMOS 이미지 센서 칩을 장착하고 COF 방식으로 조립된 VGA 급 카메라 모듈의 원가에서 이미지 센서가 55%의 비중을 차지하고 있으며, 렌즈와 IR 차단 필터는 19% (각각 16%와 3%)의 비중을 차지하고 있다 (2004 년 5 월 기준). 이에 따라

렌즈에 대한 가격 저하에 대한 압박은 점점 심해지고 있는 상황이다.

그림 1(a)는 일반적인 카메라 모듈의 조립체를 보여주고 있는데, 여러 개의 개별적인 렌즈들이 배럴 내에 배열되어 있다. 이러한 형태는 사용하는 이미지 센서 칩의 크기 이하로 카메라 모듈의 두께를 줄이는 데 한계가 있다. 예를 들어, VGA 급 카메라 모듈의 경우 3~4 mm 정도이다. 또한 기구적인 조립 공정은 렌즈 간의 정렬에 대한 아주 정확한 조정이 요구되며 배럴 내에 개별적으로 삽입되기 때문에 대량생산에 어려움을 겪고 있다.

본 논문에서는 웨이퍼 단위의 복제와 접합 공정을 통해 제작되는 소형이고 저가의 모바일 카메라 모듈을 제작할 수 있음을 보여준다. 웨이퍼 단위로 제작된 카메라 모듈의 개략도를 그림 1(b)

1. 삼성전기 중앙연구소 OS랩

#. 삼성전기 중앙연구소 OS랩, E-mail: incheol@samsung.com

에서 보여주고 있다. 여기서 모든 렌즈들은 기구적인 체결을 사용하지 않고 결합되어 있다.

본 논문은 웨이퍼 단위로 제작된 VGA 카메라 모듈의 결과를 보여주고 있다. 이를 통해 모바일 카메라 모듈에 들어가는 렌즈 모듈, 특히 초박형 렌즈 모듈(예를 들어, planar optics)에 대해서 웨이퍼 단위 복제 기술을 이용하여 제작 가능한 지에 대한 검증의 목적으로 진행되었다. 또한 일반적인 금형 및 사출을 이용한 플라스틱 렌즈의 제조 방법과 더불어 비구면 형상의 렌즈들을 웨이퍼 단위 복제 기술을 이용하여 제조할 수 있는 기반을 확보하는 것이다. 웨이퍼 단위로 모바일 카메라 모듈을 제작할 경우, 설계된 광학적 성능을 얻기 위해서는 웨이퍼 단위 마스터나 소프트 몰드의 이형(release)을 용이하게 하기 위한 폴리머 표면 처리 기술과 UV 경화 광 폴리머의 수축에 대한 정확한 보정이 아주 중요한 기술임을 알아내었다.

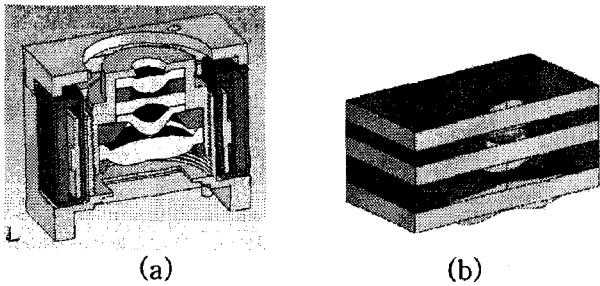


Fig. 1 Diagram of Camera Module

- (a) Diagram of Mechanically assembled lenses used in most of current mobile-phones
- (b) Diagram of Wafer-scale packaged lenses in a compact module

2. 웨이퍼 단위 접합

그림 2는 본 연구에서 사용한 웨이퍼 단위 접합 공정을 보여주고 있다. 웨이퍼의 양면에 2차원으로 배열된 비구면 형상들이 복제되어 있는 하나의 유리 웨이퍼는 또 다른 비구면 형상이 복제된 유리 웨이퍼들과 순서대로 접합한다. 적층으로 접합된 유리 웨이퍼들은 정해진 크기로 절단하여 이미지 센서 칩과 조립되어 하나의 카메라 모듈을 만들게 된다. 여기서 양면에 비구면 형상이 복제된 하나의 유리 웨이퍼는 일반적인 하나의 렌즈에 해당한다.

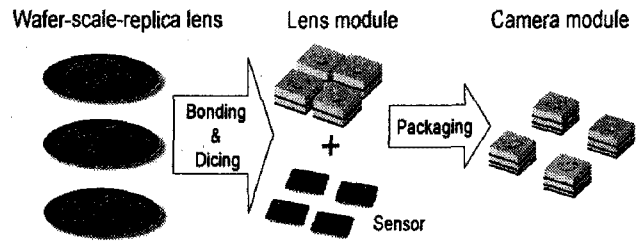


Fig. 2. Procedure of wafer-scale packaging of camera modules

웨이퍼 단위 복제 기술은 마이크로 렌즈 어레이나 회절소자, 나노 임프린팅 리소그래픽에서 적용되고 있으며, 이 기술을 구현하기 위하여 크게 열과 압력을 이용하는 hot 엠보싱 방법과 자외선 영역의 빛을 이용하는 UV 엠보싱 방법이 있다[1]. Hot 엠보싱 방법은 고온/고압 공정이기 때문에 설비의 구축이 어렵고 또한 여러 장의 유리 웨이퍼를 접합할 경우 웨이퍼를 정렬시키기 위한 스테이지 및 줌 광학계의 부착이 용이하지 않다. 이에 비해 UV 엠보싱 방법은 빛을 이용하는 공정이기 때문에 투명한 유리 웨이퍼를 정렬하는데 있어서 유리하다[2-5]. 따라서 본 연구에서 UV 엠보싱 방법을 적용하여 웨이퍼 단위 복제 기술을 구현하였다. 그림 3은 UV 엠보싱 방법에 의한 복제 기술 구현을 위한 전체적인 공정 단계를 보여주고 있다. (1) 단계는 DTM (diamond turning machine)에서 가공한 비구면 형상을 가지는 금속 몰드로 유리 웨이퍼 면의 정해진 위치에 렌즈를 복제시키는 단계이며, 이러한 단계를 유리 웨이퍼 전체 면적에 걸쳐 2차원 배열을 만든다. 이것은 다음 단계에서 사용될 마스터 형판을 만드는 것이다. 제작된 마스터 형판은 이형을 용이하게 하기 위해 이형층을 갖도록 표면 처리한 후 소프트 몰드를 제작하는 단계이다. 비구면 렌즈 형상이 음각으로 복제되어 있는 소프트 몰드는 다시 적당한 굴절률의 UV 경화 광 폴리머 재질을 이용하여 렌즈용 유리 웨이퍼에 복제시켜 최종적인 유리 웨이퍼 복제 렌즈를 만들게 된다.

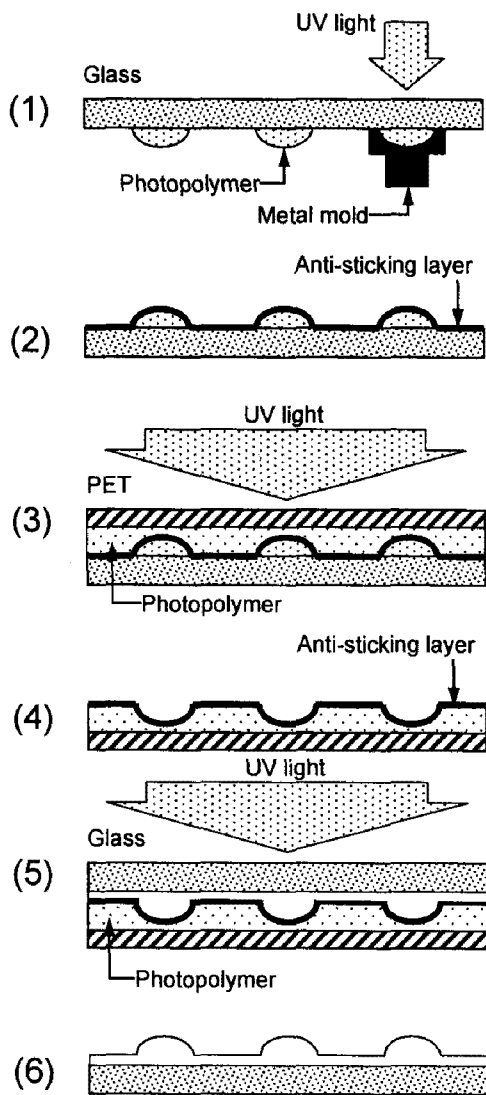


Fig. 3. UV-embossing process. (1) mastering, (2) anti-sticking of master surface, (3) soft molding, (4) anti-sticking of soft-mold surface, (5) lens replication, and (6) final replicated wafer

3. VGA 카메라 모듈 제작

3.1. 복제 렌즈의 수축 보정

본 연구에서 사용된 광 폴리머 수지는 UV 빛에 의해 경화되면서 수지 내에 들어있는 C=C 결합 (0.3~0.4 nm의 결합 길이)이 C-C 결합 (0.15 nm의 결합 길이)으로 변하면서 밀도가 증가되었기 때문에 부피 수축이 일어나게 된다. 광 폴리머의 수축은 종 방향 수축과 횡 방향 수축으로 나눌 수 있

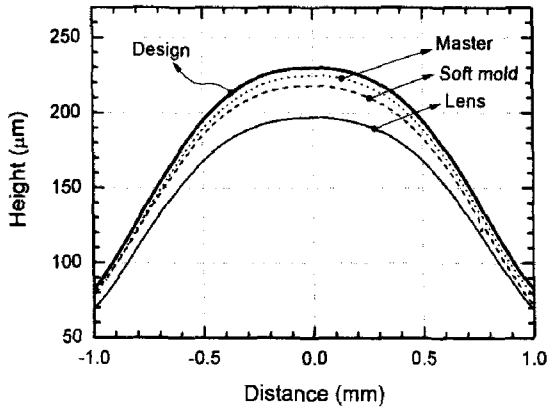
다. 본 연구에서 폴리머의 두께에 비해 두꺼운 유리 웨이퍼 기판을 사용하여 폴리머의 횡 방향 수축으로 인해 발생할 수 있는 유리 웨이퍼 기판의 휘어짐을 방지하였기 때문에 횡 방향 수축은 무시하였다. 따라서, 본 연구에서 광 폴리머의 종 방향 수축만을 고려하였으며, 수축량은 설계된 렌즈와 복제된 렌즈에 대한 형상 높이 차이로 정의하였다.

본 연구에서 사용한 UV 경화 광 폴리머를 이용한 복제된 렌즈의 형상은 설계된 형상에 비해 20~30%의 수축을 보였다. 이러한 수축은 조사되는 UV 광의 출력과 조사시간, 그리고 경화시키는 동안 유리 웨이퍼에 가해지는 압력 등과 같은 UV 경화 조건에 의존한다. UV 광 폴리머의 수축 발생은 내재하고 있는 물질의 고유 특성이므로, 본 연구에서는 UV 경화 조건으로부터 광 폴리머의 수축 발생을 최소화시키고 충분한 재현성 확보가 가능한 경화 조건을 찾았다.

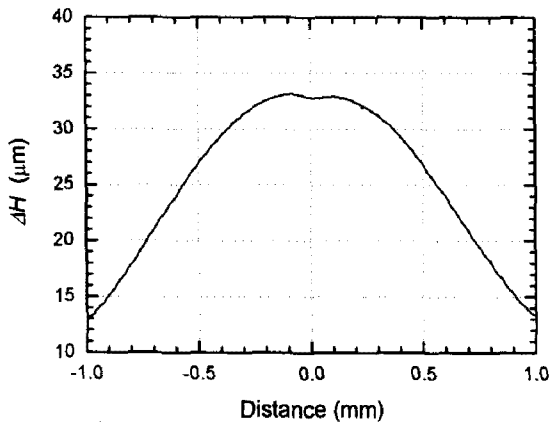
그림 3의 (3) 단계와 (5) 단계는 웨이퍼 단위로 진행되는 공정이다.

웨이퍼 단위로 복제된 렌즈의 형상은 표면형상 측정기(P-15, Tencor)를 이용하여 측정하였다. 최종 복제 렌즈의 측정된 비구면 형상은 MATLAB 프로그램을 이용하여 설계된 비구면 형상과 비교하여 UV 경화 광 폴리머의 수축량을 얻었으며, 또한 금속 몰드의 보정을 위하여 복제 렌즈의 비구면 형상에 대한 10 차까지의 비구면 계수들을 계산하였다.

그림 4는 최적 UV 경화 조건으로 제작된 중심 높이가 230 μ m으로 설계된 렌즈에 대한 UV 경화 후의 복제된 각 단계의 렌즈들의 높이 변화를 보여주고 있다. 초기 금속 몰드의 비구면 형상은 설계된 비구면 형상의 값을 적용하여 가공하였다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이, 수축 보정 전의 복제된 렌즈들의 중심 높이는 설계에 대비하여 마스터, 소프트 몰드, 그리고 최종 복제 렌즈의 순서로 감소하고 있다. 마스터와 소프트 몰드에 사용한 수지는 동일한 UV 경화 수지를 사용하기 때문에 동일한 수준의 수축량을 보이고 있으나 복제 렌즈의 수지는 상당히 많은 수축량을 보이고 있다. 최종적인 복제 렌즈의 중심에서의 수축량은 설계된 값과 비교하여 약 15% 정도의 상당히 큰 값을 가졌다.



(a)



(b)

Fig. 4. Profiles of the resultant lenses and profiles errors between the designed and the replicated lenses before the shrinkage compensation.

(a) Profiles of the design (thick), the master (dot), the soft mold (dash), and the replicated lens (thin)

(b) The height difference between profiles of the designed and the replicated lens

그림 4(b)는 그림 4(a)의 설계 형상과 최종 복제 렌즈 형상의 높이 차이를 보여주고 있다. 이상적인 경우, 설계 형상에 대한 복제 렌즈의 형상 높이 차이는 거의 없어야 한다. 그러나 렌즈 가장자리의 높이 차이에 비해 중심의 높이 차이가 상당히 높게 나왔다. 이것은 금속 몰드에 대한 복제된

렌즈의 비구면 계수의 수정으로 비구면 형상 보정이 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 실험적으로 얻은 광 폴리머 수축 결과는 금속 몰드를 보정하기 위하여 사용하였다. 금속 몰드의 수정은 이미 정립되어 있는 공정으로 쉽게 얻을 수 있다.

금속 몰드에 대한 필수적인 렌즈 형상 수정은 수축 보정된 렌즈 형상의 비구면 계수들과 그림 4(b)에서 얻은 렌즈 형상의 높이 차이로부터 얻었다. 보정된 후의 복제 렌즈 형상은, 보정하기 전의 복제 렌즈의 형상과 비교하여 상당히 개선된 수축 보정 결과를 보여주고 있다. 이것은 복제된 렌즈 형상에 대해서 좀더 보정 작업을 진행해 줌으로써 최적화된 UV 경화 조건과 금속 몰드의 추가적인 수정을 통해 정확한 수축 보정을 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

3.2. VGA 급 카메라 모듈의 제작

본 연구에서 웨이퍼 단위 복제 공정을 구현하기 위하여 직경 100 mm의 유리 웨이퍼를 사용하였으며, 1.4~1.6의 굴절률을 가지는 UV 광 폴리머를 이용하였다. 하나의 유리 웨이퍼의 양면이 비구면 형상을 가진다. 렌즈 모듈에서 첫 번째 유리 웨이퍼의 앞면에 카메라 모듈의 개구 역할을 하도록 AI 물질을 이용하여 금속 박막을 증착하였다. 또한 렌즈 모듈의 마지막 유리 웨이퍼의 한쪽 면에는 IR 차단 필터를 코팅하여 별도의 IR 차단 필터를 사용하지 않도록 하였다.

여러장의 유리 웨이퍼를 접합하여 제작하고자 하는 카메라 모듈의 제작은 각각의 웨이퍼 위치 맞춤을 위한 정렬키의 제작 방법, 웨이퍼 간격을 맞추기 위한 스페이서의 재질과 두께, 그리고 웨이퍼와 웨이퍼의 접합 방법 등이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 유리 웨이퍼들의 위치와 간격을 맞추기 위하여 렌즈와 스페이서를 일체형으로 복제하는 방법을 적용하였으며, 이를 위하여 정렬키와 스페이서가 원하는 두께로 에칭된 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 실리콘 웨이퍼에 만들어진 정렬키와 스페이서는 마스터용 유리 웨이퍼에 그대로 복제되기 때문에 최종 렌즈 단계까지 복제되어 웨이퍼의 접합에 이용할 수 있다.

그림 5는 웨이퍼 단위로 접합된 3장의 유리 웨이퍼를 절단하여 얻은 최종적인 렌즈 모듈을 보여주고 있다. 여기서 렌즈 모듈의 크기는 5×5

×3.2 mm³ 이다. 제작된 렌즈 모듈은 기구물로 이미지 센서 칩과 조립되어 카메라 모듈을 만들게 된다.

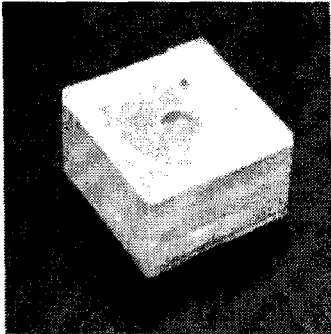


Fig. 5. Image of the wafer-scale lens unit with 3 wafers for the VGA camera module

3.3. VGA 급 카메라 모듈의 제작

VGA 급 렌즈 모듈은 0.7 필드에서 80 lp/mm 의 분해능을 가지도록 설계하였고 제작 된 VGA 급 렌즈 모듈은 0.7 필드에서 약 63 lp/mm 의 공간 분해능을 가졌다. 특히 화면의 중심부가 다른 부분에 비해 초점을 맺지 못한 것은 복제 렌즈에 대한 금속 몰드의 수축 보정 수준이 렌즈의 중심부에 대해서 충분하지 않았기 때문이며, 그림 8 에서 보여준 것과 같이 약 5 μm 정도의 오프셋이 발생하여 비구면 형상뿐만 아니라 비구면 렌즈의 두께를 정확하게 맞추지 못했기 때문으로 생각된다.

모든 렌즈 면들에 대한 정확한 수축 및 형상 보정을 통해 카메라 모듈의 이미지 분해능을 개선할 수 있으며, 곧 카메라 모듈을 선보일 것이다. 이와 더불어 웨이퍼 단위 복제 기술을 구현하기 위한 장비의 정밀도를 개선함으로써 충분히 광학적 성능을 향상시킬 수 있으며, 현재 공정 설비의 보완 작업이 진행 중에 있다.

4. 결론

본 연구에서 UV 엠보싱 방법으로 웨이퍼 단위 복제 기술을 구현하여 VGA 급 카메라 모듈을 제작하였다. 마스터로 사용된 금속 몰드는 복제된

비구면 렌즈 형상과 설계 형상을 비교하여 광 폴리머의 수축량으로부터 계산하여 보정되었다. 최종 복제된 비구면 렌즈는 대표적으로 렌즈의 중심에서 약 1.8%의 작은 팽창을 보였다. 3 장의 유리 웨이퍼로 구성된 VGA 급 카메라 모듈을 제작하였고 투영평가기를 이용하여 이미지 분해능을 평가하였다. 제작된 VGA 모듈의 분해능은 설계 값보다 낮은 결과를 보였으며, 이것은 금속 몰드의 비구면 형상 및 수축에 대한 보정 작업이 추가적으로 요구된다. 향후 개선된 보정 작업을 통해 카메라 모듈을 제작할 계획이다.

우리는 웨이퍼 단위 복제 기술이 모바일 카메라 모듈의 단가를 감소시킬 뿐만 아니라 두께를 줄이는데 기여할 것으로 확신한다. 웨이퍼 단위 공정을 기반으로 현재 2 mm 이하의 두께를 가지는 초박형 카메라 모듈을 개발 중에 있다. 별도의 배럴이 필요 없는 모바일 카메라 모듈은 디스플레이 패널의 가장자리에 위치시킬 수 있기 때문에 모바일 카메라의 설계자에게 모바일 카메라 모듈의 위치 및 배열에 새로운 자유도를 제공할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. I. Kang, "Replication technology for micro/nano optical components," *Jpn. J. Appl. Phys.* 43, 5706 (2004).
- [2] S. D. Fantone, "Replication optical surfaces using UV curing cements: a method," *Appl. Opt.* 22(6), 764 (1983).
- [3] J. J. M. Braat, A. Smid, and M. M. B. Wijnakker, "Design and production technology of replicated aspheric objective lenses for optical disk system," *Appl. Opt.* 24(12), 1853 (1985).
- [4] R. J. M. Zwiers and G. C. M. Dortant, "Aspherical lenses produced by a fast high-precision replication process using UV-curable coatings," *Appl. Opt.* 24(24), 4483 (1985).
- [5] H. Rudmann and M. Rossi, "Design and fabrication technologies for ultraviolet replicated micro-optics," *Opt. Eng.* 43(11), 2575 (2004).