

모사 광전자 소자 상에 적용한 마이크로렌즈 어레이의 UV 성형

구승원*·김석민*·강신일*·손현주**

UV molding of Microlens Array on the Simulated Optoelectronic Device

S. Koo, S. Kim, S. Kang, and H. Son

Abstract

Recently, demand of digital products with optoelectronic device is increasing rapidly. A microlens array is applied to improve optical efficiency on optoelectronic device, and it is usually fabricated by photolithography and reflow process after planarization layer coating process. UV molding process is more suitable for mass production of high quality microlens array than photolithography and reflow process. In the present study, microlens array was fabricated on the simulated optoelectronic device with planarization layer by aligned UV molding process. The shape of replicated microlens was measured, and the section image of molded part was examined.

Key Words : UV molding(UV 성형), Photopolymer(포토폴리머), Optoelectronic device(광전자 소자), Microlens array(마이크로렌즈 어레이)

1. 서론

최근 디지털 카메라, 카메라 휴대폰, 디지털 디스플레이 등 광전자 소자(optoelectronic device)가 적용되는 디지털 제품들의 수요가 빠르게 증가하고 있다. 어레이(array) 형태의 광전자 소자는 보통 픽셀(pixel)의 단위로 구성되어 있으며, 각 픽셀들의 정보가 모여 소자 전체의 기능을 하게된다. 이미지 센서 등의 광전자 소자의 경우에는 각 픽셀에서 받아들이는 빛이 소자의 구조상 형성되는 개구로 인하여 그 양이 한정되기 때문에 광효

율을 높여주기 위하여 마이크로렌즈 어레이(microlens array)를 적용하는 방법이 사용된다. 광전자 소자의 제작은 원하는 특성에 따라 다양한 기능의 층들을 적층한 뒤, 평탄화를 위한 평탄층을 형성하고 마이크로렌즈 어레이를 소자의 각 픽셀과 일대일로 대응하는 위치에 제작하는 순서로 진행된다. 마이크로렌즈는 일반적으로 평탄층 상에 포토리소그래피(photolithography)와 reflow 공정을 거치는 비교적 복잡한 공정을 통해 제작된다.

마이크로렌즈를 제작하는 방법들 중 성형 방법은 반복성과 양산성이 높고 광학적으로 우수한 폴리머(polymer)

* 연세대학교 기계공학과
** (주)옵토메카 기술연구소

재료를 사용하기에 매우 적합한 방법이다. 특히 UV 성형 공정은 저압 상온 공정이 가능하고, 성형품은 낮은 열팽창 계수, 높은 안정성, 낮은 복굴절 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 UV 성형은 광전자 소자 상에 미세 광부품을 직접 성형함에 있어 가장 적합한 방법이라 할 수 있다. Tanigami 등은 UV 성형을 이용하여 높은 열적 안정성과 낮은 수차를 갖는 프레넬 렌즈를 유리 기판 상에 성형하였고⁽¹⁾, Kang 등은 UV 성형을 이용하여 고품질의 마이크로렌즈 어레이를 성형하였다⁽²⁾.

본 연구에서는 실제 광전자 소자에서 평탄층 제작 전 단계의 굴곡면을 웨이퍼(wafer) 상에 모사하였다. 요철면이 형성된 웨이퍼 상에 평탄층과 마이크로렌즈 어레이를 포함하는 부분을 몰드(mold)를 이용한 UV 성형법으로 제작하였으며, 정렬 마크(alignment mark)를 이용하여 각 픽셀에 마이크로렌즈가 대응하도록 하였다⁽³⁾. 또 성형된 임의의 마이크로렌즈에 대한 형상을 측정하고, 마이크로렌즈 어레이가 성형된 모사 광전자 소자의 단면 이미지를 촬영하여 설계값을 만족하는지를 확인하였다.

2. 마스터 마이크로렌즈 어레이 및 몰드의 제작

2.1 마스터 마이크로렌즈 어레이의 제작

마스터(master) 렌즈의 제작은 스핀 코팅과 포토리소그래피의 공정으로 실리콘 웨이퍼 기판 위에 사각 기둥형상의 PR 패턴을 만들고 이를 열처리 하여 표면 장력에 의해 반구에 근접한 단면을 가지는 렌즈면을 형성시켜주는 reflow법을 이용하였다⁽⁴⁾. 이를 위하여 밑면의 한 변 길이가 약 4.5 μm 인 정사각형 형태의 마스터 렌즈를 제작하기 위한 포토 마스크(photo mask) 및 초기 패턴의 형상을 설계하였다. 또 설계된 패턴을 제작하기 위한 최적의 포토리소그래피 조건과 reflow 조건을 계산과 실험을 통해 결정하였다. PR을 도포한 후 이를 UV 노광장비를 이용하여 초기 PR 패턴을 형성하였으며, reflow 공정을 통해 밑면이 정사각형의 형상을 가지는 마스터 렌즈를 제작하였다.

광전자 소자는 웨이퍼 상에 반도체 공정을 이용하여 제작되며, 성형법으로 각 픽셀에 대응하는 마이크로렌즈 어레이를 제작하기 위해서는 성형 시 몰드의 각 캐비티들과 픽셀들 사이의 정렬이 요구된다. 본 연구에서는 모사 광전자 소자를 위한 요철부와 몰드 캐비티의 정렬을 위하여 정렬 마크를 마스크의 설계 단계에서부터 고려하여 적용하였다.

2.2 UV 투과형 몰드와 모사 광전자 소자를 위한 요철면의 제작

광전자 소자는 여러 층들이 적층된 구조로 실리콘(silicon) 웨이퍼 상에 제작되기 때문에, 웨이퍼 기판의 방향에서는 UV가 투과할 수 없다. 따라서 UV 성형법으로 마이크로렌즈 어레이를 제작하기 위해서는 몰드가 UV를 투과시킬 수 있는 재질이어야 한다. 본 연구에서는 앞서 제작한 마스터 렌즈 형상의 캐비티를 가지는 UV 투과형 몰드를 제작하였다.

또 실제 소자의 평탄층 전 단계까지의 면을 형성하기 위해서, 4inch의 실리콘 웨이퍼 상에 PR을 스핀 코팅하고 현상 공정 후 외부로 드러난 웨이퍼 면을 RIE 공정으로 식각하여 요철면을 제작하였다. 이때 UV 성형 공정 시 몰드와 웨이퍼의 정렬을 위하여 정렬 마크를 함께 제작하였다. 공정 조건을 조절하여 PR과 실리콘 웨이퍼의 식각비를 1:1로 제어하였으며, 약 1.5 μm 의 깊이로 웨이퍼를 식각하였다.

3. 마이크로렌즈 어레이의 UV 성형

UV 성형 공정은 UV에 반응하여 경화되는 액체 상태의 포토폴리머(photopolymer)를 이용하여 몰드 캐비티형상의 성형품을 얻어내는 성형법이다. 본 연구에서 사용된 UV 성형 장비는 265~420nm 범위의 파장을 가지는 자외선을 방사하는 메탈 할라이드 램프와 광량 조절 장치, 가압 시스템 등을 갖추고 있다. 재료는 아크릴 계열의 액상 포토폴리머를 사용하였으며, 굴절률은 665nm 파장에서 1.52, 점도는 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 350cps이다.

본 연구에서는 평탄층 전 단계의 요철면이 모사되어 있는 4inch의 웨이퍼 상에 포토폴리머를 도포하고, 제작된 UV 성형용 몰드를 이용하여 평탄층과 마이크로렌즈 어레이를 함께 성형하였다. 이때 이형 공정을 고려하여 웨이퍼와 포토폴리머의 접착성을 높이기 위한 전처리를 적용하였다. 평탄층은 마이크로렌즈의 곡률 반경, 제품 사용 시 적용되는 광원의 주요 파장 범위와 최대 입사각의 크기 등의 요인에 의해 그 두께가 결정되며, 일반적으로 수 μm 이내의 두께를 가지는 매우 얇은 층이다. 실제 소자에서의 평탄층을 대신하는 부분인 마이크로렌즈와 웨이퍼의 요철면 사이 층을 약 1 μm 의 간격으로 성형하기 위하여, 실험과 계산을 통해 공정 조건을 도출하였다. 결정된 최적의 공정 조건에 의하여 포토폴리머를 요철면이 형성된 웨이퍼 상에 도포하였다.

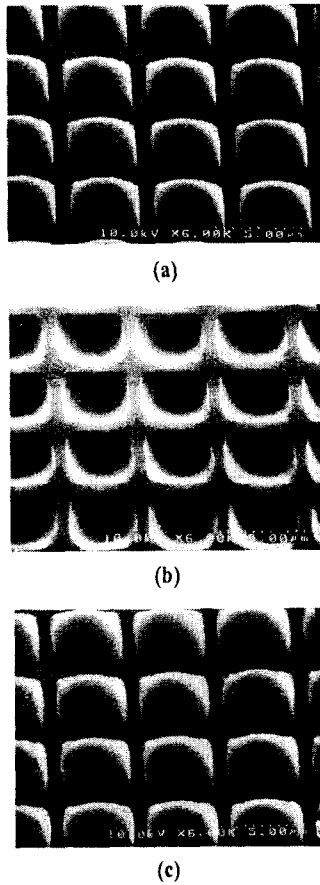


Fig. 1 SEM images of (a) master microlens array, (b) mold cavity and (c) molded microlens array

다음으로 포토폴리머가 도포된 웨이퍼 상에 몰드를 덮고 UV를 조사하여 마이크로렌즈 어레이를 성형하였다. 몰드를 덮는 과정에서 웨이퍼와 몰드의 정렬 마크들을 이용하여 픽셀 단위로 제작된 요철부와 마이크로렌즈를 정렬시켜 주었다.

Table 1 Comparison of design value and measured data of molded microlens

Parameter	Design value	Molded lens
Length of lens base	L 4.55 μm	L_m 4.64 μm
Sag. height	H 1.43 μm	H_m 1.41 μm
Radius of curvature	R 2.51 μm	R_m 2.54 μm
$ (L-L_m)/L \times 100$	1.97%	
$ (H-H_m)/H \times 100$	1.40%	
$ (R-R_m)/R \times 100$	1.20%	

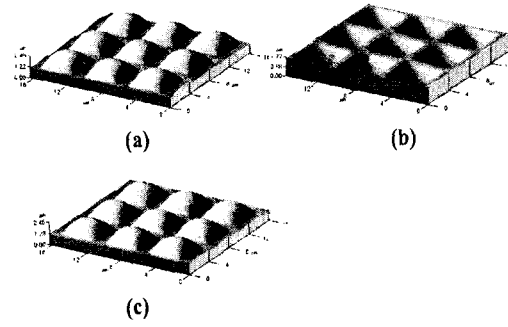


Fig. 2 AFM images of (a) master microlens array, (b) mold cavity and (c) molded microlens array

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 마스터 마이크로렌즈 어레이, 몰드 캐비티, 성형된 마이크로렌즈 어레이의 SEM 이미지와 AFM 이미지이다. Table 1은 광학 현미경, AFM, 3D profiler를 이용하여 측정한 값이며, UV 성형법으로 성형된 렌즈가 설계값과 비교하여 렌즈의 밑면 각 변의 길이가 1.97%, 곡률 반경이 1.20% 크고 높이가 1.4% 작음을 알 수 있다. 또 Fig. 3에는 설계값과 성형된 렌즈의 단면 프로파일을 비교하였으며, 측정에는 AFM을 이용하였다. 성형된 마이크로렌즈 어레이가 설계값에 근접한 형상을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 제작하고자 하는 성형품의 단면 형상의 개략도이며, Fig. 5는 연구를 통해 제작한 성형품의 단면 이미지이다. Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 마이크로렌즈와 요철부가 정렬되어 성형되었으며, 목표했던 단면 형상에 근접하는 결과를 얻었음을 확인할 수 있다. SEM 이미지를 확대하여 마이크로 렌즈와 웨이퍼 요철부의 상면 간의 거리를 측정하였으며, 약 1.12 μm 의 두께로 성형되었음을 알 수 있다.

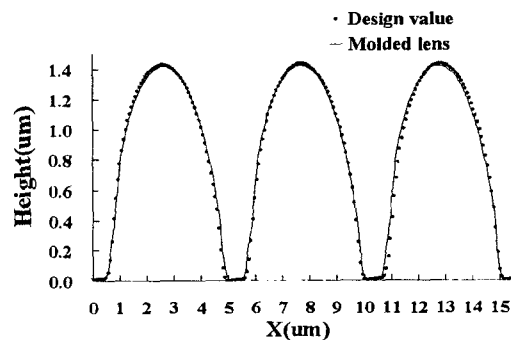


Fig. 3 Profiles of design value and molded microlens array (measured by AFM)

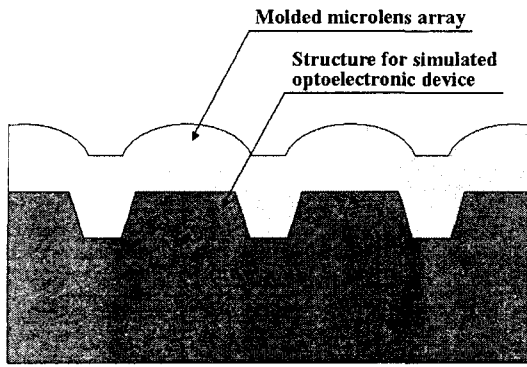


Fig. 4 Schematic of molded microlens array for the simulated optoelectronic device

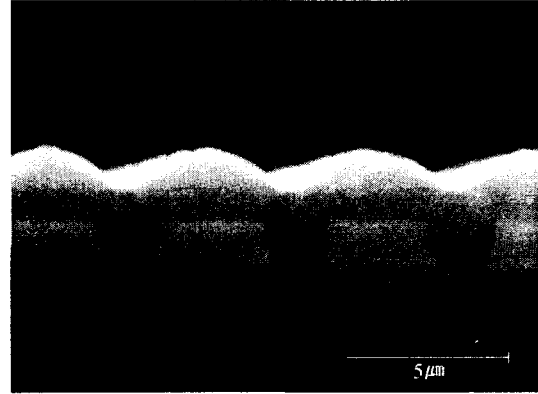


Fig. 5 SEM image of molded microlens array for the simulated optoelectronic device

4. 결론

본 연구에서는 실제 광전자 소자에서의 평탄층 제작 전의 상부 형상을 4inch 실리콘 웨이퍼 상에 모사하고, reflow법보다 반복성이 뛰어나고 양산에 적합한 UV 성형법과 정렬 기법을 이용하여 각 요철부와 일대일로 대응하는 위치에 마이크로렌즈 어레이를 성형하였다. 또 실제 소자의 평탄층에 해당하는 마이크로렌즈 어레이와 요철부 사이의 층을 약 1 μ m의 두께로 성형할 수 있음을 보여 기존 공정을 대체할 수 있는 가능성을 제시하였다.

현재 본 연구의 성형 공정을 실제 양산에 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 산업기술개발출연사업 중 부품·소재기술개발사업인 "50 μ m급 플라스틱 refractive/diffractive micro lens array 및 micro lens 개발" 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 본 연구에 도움을 주신 (주)픽셀플러스에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) N. Tanigami, S. Ogata, S. Aoyama, T. Yamashita, and K. Imanaka, 1989, "Low Wavefront Aberration and High-Temperature Stability Molded Micro Fresnel Lens", IEEE Photonics. Tech. L., Vol. 1, pp. 384~385
- (2) Seok-min Kim, Dongmook Kim, Shinill Kang, 2003, "Replication of micro-optical components by UV-molding process", Journal of Microlithography, Microfabrication, and Microsystems, Vol. 2 No. 4
- (3) S. Kang, 2003, "Image sensor, fabrication method of an image sensor and mold for fabricating a micro condenser element array used in the same", Korea Patent, also US Patent Pending
- (4) S. Moon, N. Lee, and S. Kang, 2002, "Fabrication of Microlens Array using Micro-compression Molding with Electroformed Mold Insert", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 13, pp. 98~103