한국소성가공학회 2007년도 추계학술대회 논문집 pp. 100~103

UV 임프린팅을 이용한 이미지 센서용 웨이퍼 스케일 마이크로렌즈 어레이 설계 및 제작

김호관 · 김석민 · 임지석 · 강신일*

Design and fabrication of wafer scale microlens array for image sensor using UV-imprinting

Hokwan Kim, Seokmin Kim, Jiseok Lim and Shinill Kang*

Abstract

A microlens array has been required to improve light conversion efficiency in image sensors. A microlens array can be usually fabricated by photoresist reflow, hot-embossing, micro injection molding, and UV-imprinting. Among these processes, a UV-imprinting, which is operated at room temperature with relatively low applied pressure, can be a desirable process to integrate microlens array on image sensors, because this process provides the components with low thermal expansion, enhanced stability, and low birefringence, furthermore, it is more suitable for mass production of high quality microlens array. In this study, to analyze the optical properties of the wafer scale microlens array integrated image sensor, another wafer scale simulated image sensor chip array was designed and fabricated. An aspherical square microlens was designed and integrated on a simulated image sensor chip array using a UV-imprinting process. Finally, the optical performances were measured and analyzed.

Key Words : Image sensor (이미지 센서), UV imprinting (UV 임프린팅), Microlens array (마이크로렌즈 어레이), Reflow (리플로우), Optical efficiency

1. 서 론

이미징 모듈의 소형화, 고화소화에 따라 고집적 이미지 센서에 대한 수요가 급증하고 있고, 이에 따른 연구가 활발히 진행 중이다. 이미지 센서의 고집적화에 따른 포토다이오드의 수광 면적의 감소로 수광 효율이 떨어져 보다 높은 감도의 이미지 센서의 구현을 위해 현재 대부분의 이미지 센서에는 집광을 위한 마이크로렌즈가 제작된다. 상기의 마이크로렌즈 성형 공정에는 포토레지스트 리플로우[1], 핫 엠보싱[2], 마이크로 인젝션몰딩[3,4], UV 임프린팅[5] 등 여러 가지 방법이 사용 될 수 있다. 다양한 복제 기술 중 UV 임프린팅은 자외선에 반응하여 경화하는 포토폴리머를 이용한 상온저압공정으로, 낮은 열팽창 계수, 높은 안정성, 낮은 복굴절 등의 장점을 갖는 성형품 제작이 가능하여 마이크로렌즈와 같은 광부품 제작에 적합하다. 또한 광전자 모듈상에 직접 할 수 있어, 중간 공정을 생략 할 수 있고, 높은 품질의 마이크로렌즈 양산공정에 적합한 공정이다.

본 연구에서는 높은 광 효율을 갖는 이미지 센서용 마이크로렌즈 어레이를 설계하고, 이를 모사 이미지 센서 기판 상에 제작하고, 최종적으로 광 효율을 측정하고 평가하였다.

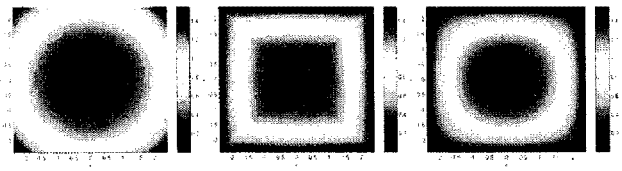
연세대학교 대학원 기계공학과
* 교신저자 E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

2. 비구면 사각 마이크로렌즈 설계

마이크로렌즈의 마스터 패턴은 열처리를 통해 유리화 온도까지 가열된 포토리지스트의 표면장력에 의해 제작된 패턴이 렌즈형태로 변하게 되는 리플로우 공정으로 제작된다. 본 연구에서는 원형 리플로우 렌즈보다 상대적으로 fill factors가 큰 밑면이 사각형인 리플로우 마이크로렌즈가 사용되었다. 일반적으로 구면 형태를 갖는 원형 리플로우 렌즈와는 달리, 밑면이 사각형인 리플로우 렌즈를 모델링 하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중 첫 번째 방법은[6] 리플로우 사각 마이크로렌즈 표면을 구의 표면의 일부라고 가정하는 것이다. 두 번째는[7] 렌즈의 표면이 렌즈 중심을 지나는 단면을 따라 변화는 돔 형태로 가정하는 것이다. 또 다른 세 번째 방법은 리플로우 사각 마이크로렌즈의 중심축(수평과 수직)을 지나는 단면의 프로파일은 구의 표면 프로파일을 따르고, 수평 및 수직 축과 평행한 단면 프로파일들은 그 프로파일들의 중심 높이와 중심축에서 단위 높이 분포에 의해서 결정된다고 가정하였다. Fig. 1은 밑면의 크기가 4.8μm x 4.8μm, sag 1.55μm를 갖는 리플로우 사각 마이크로렌즈의 세가지 모델에 의한 모델링 결과이다. 이 중 가장 적합한 렌즈 모델링 방법을 선정하기 위해서 실제 사각 마이크로렌즈를 리플로우 공정을 통해서 제작 및 측정하고 각각의 모델링 방법을 통해서 얻은 표면 프로파일들과 비교하였다.

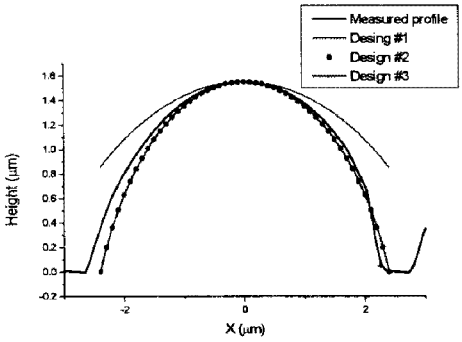
Fig. 2는 (a) 수평축과 (b) 대각선축에서의 실제 측정된 렌즈 프로파일과 모델링한 프로파일을 비교한 결과이다. 위의 결과들은 세 번째 모델이 리플로우 사각 마이크로렌즈 설계에 가장 적합한 모델임을 보여준다.

본 공정의 적용을 위해, Fig. 3과 같이 5.6μm x 5.6μm 크기의 픽셀과 3.7μm x 3.7μm 크기의 수광부를 갖는 1.3M 픽셀급 이미지 센서를 기준으로실험을 진행하였다. 마이크로렌즈 밑면은 4.8μm x 4.8μm 의 정 사각 형태로 5:1 stepper 시스템을 통해 제작되었다. 또한 시뮬레이션 툴을 이용하여 최적화된 렌즈 sag는 1.19μm로 계산되었다. 이때 마이크로렌즈의 광효율은 71.70% 이다.

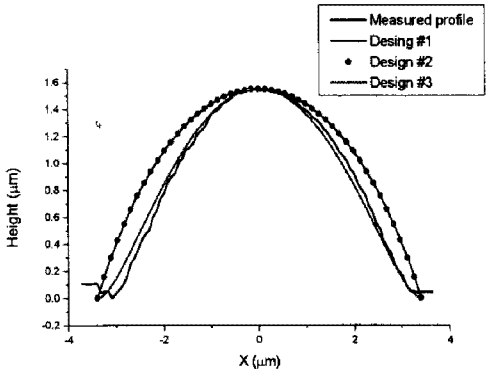


(a) (b) (c)

Fig. 1. Height distributions of RSML (Reflowed Square Microlens Array) obtained with the (a) 1st, (b) 2nd, (c) 3rd modeling method



(a) Horizontal cross section



(b) Diagonal cross section

Fig. 2. Comparison of the measured and theoretical profiles of RSML: (a) horizontal and (b) diagonal

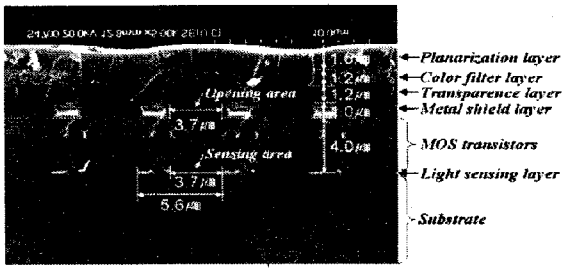
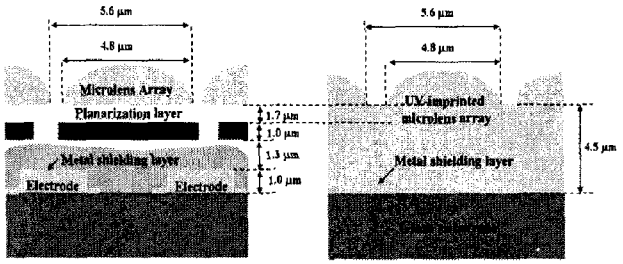


Fig. 3. SEM image (cross-sectional view) of the target image sensor

3. UV 임프린팅을 이용한 모사 이미지 센서용 마이크로렌즈 어레이 제작

3.1 모사 이미지 센서 제작

마이크로렌즈 어레이의 광특성을 평가하기 위해 모사된 이미지 센서를 설계하고 제작하였다.



(a) (b)

Fig. 4. Schematics of (a) real image sensor and (b) simulated image sensor

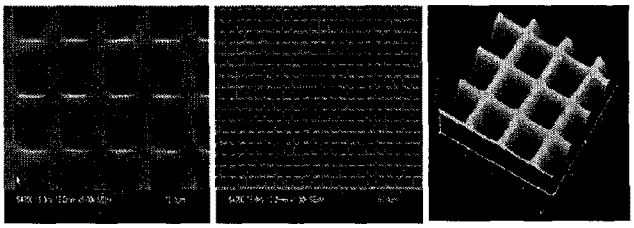
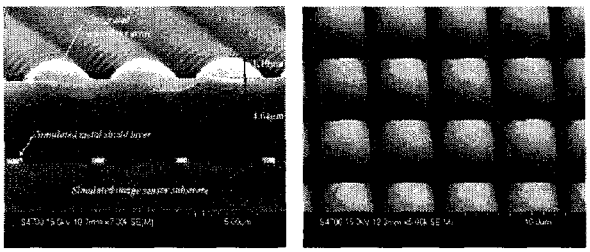


Fig. 5. SEM images and 3D-surface profiles obtained from AFM data of mold insert having square based microlens



(a) (b)

Fig. 6. SEM (a) image(cross sectional view) and (b) image(top view) of microlens array on simulated image sensor

Fig. 4 (a)는 다양한 층으로 구성된 실제 이미지 센서의 개략도 이고, Fig. 4 (b)는 마이크로렌즈의 광효율을 측정하기 위해 실제 수광 영역과 동일한 형태의 광 투과 영역을 갖는 모사 이미지 센서의 개략도 이다. 이는 금속 박막이 증착된 유리 기판상에 포토리소그래피 공정 및 식각 공정을 통해 제작되었다.

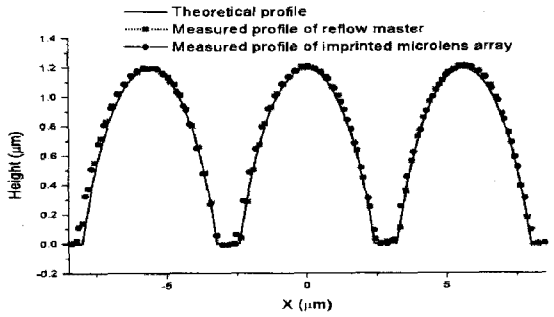


Fig. 7. The theoretical and measured profiles of the reflow master and the UV-imprinted microlens array

3.2 스탬퍼 제작 및 마이크로렌즈 어레이 UV 임프린팅

스탬퍼는 밑면 사이즈 4.8μm x 4.8μm, 피치 5.6μm, 평균 sag 1.198μm로 제작 되었으며 Fig. 5는 제작된 스탬퍼의 scanning electron microscope (SEM) 및 atomic force microscopy (AFM) 측정 결과이다.

앞서 제작된 모사 이미지 센서 상에 자외선 경화 폴리머를 스핀 코팅 하고, 스탬퍼를 모사 이미지 센서와 밀착 시킨 후, 자외선 경화를 위한 노광 공정을 통해 모사 이미지 센서용 마이크로 렌즈 어레이를 제작하였다. 이때 수축을 보완하기 위해 90kPa의 압력을 가하였다. Fig. 6 은 모사 이미지 센서 위에 UV 임프린팅을 이용하여 제작한 사각 마이크로렌즈 어레이의 SEM 측정결과이다.

4. 기하학적 특성 및 광 특성 평가

4.1 기하학적 특성 평가

제작된 성형품의 기하학적 특성을 평가하기 위해 임프린팅된 마이크로렌즈와 마스터 패턴의 형상을 측정 및 비교 하였다. Fig. 7 은 설계된 형상과 마스터 패턴, 그리고 임프린팅 된 마이크로렌즈 어레이의 측정 결과를 비교한 그래프이다. 설계된 프로파일과 측정된 마이크로렌즈의 프로파일의 편차가 2.2% 이하로 나타났다.

4.2 광 특성 평가

제작된 마이크로렌즈의 광 효율을 측정하기 위해 모사 이미지 센서에 마이크로렌즈를 적용했을

Table 1. Data of transmission measurement and the optical efficiency

	Measured Intensity	Measured Efficiency	Simulated Efficiency
A	721.8 μW	-	-
B	328.6 μW	45.52 %	45.42 %
C	490.0 μW	67.88 %	71.70 %

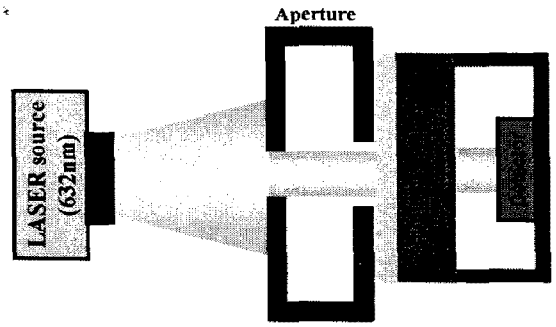


Fig. 8. Schematic diagram of the method for transmission measurement of the optical efficiency for microlens array

때와 적용하지 않았을 때의 광 파워를 측정하고 비교하였다. Fig. 8 은 마이크로렌즈의 광효율을 측정하기 위한 시스템의 개략도 이고, Table 1은 광효율을 측정한 데이터 이다. 이때 A는 유리 기판만을 통과하는 빛의 파워(평균)로서 이를 기준값으로 사용했다. B는 마이크로렌즈 어레이를 적용하지 않고 제작된 모사 이미지센서만을 통과하는 빛의 파워(평균)이고 C는 마이크로렌즈 어레이를 적용한 파워(평균)를 측정한 값이다. 모사 이미지 센서 위에 마이크로렌즈 어레이를 적용 시 효율이 1.5배 증가하였고 설계된 값과 측정된 값의 편차는 정렬 오차와 측정 오차 등에 의한 편차로 판단된다.

5. 결 론

높은 감도의 이미지 센서를 위해 본 연구에서는 사각 비구면 마이크로렌즈를 설계하고 UV 임프린팅 공정을 통해 모사 이미지 센서 위에 마이크로렌즈 어레이를 제작하였다. 또한 모사 이미지 센서용 마이크로렌즈 어레이의 표면 형상과 광학 특성을 평가하여 UV 임프린팅을 통한 이미지 센서용 마이크로렌즈 어레이의 제작과 집적화의 가능성을 확인하였다. 현재 본 연구의 성형 공정을 이용하여 실제 이미지 센서용 마이크로렌즈 어레이 제작 연구가 진행 중이다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0A-2004-000-10368-0)

참 고 문 헌

[1] S. Moon, N. Lee and S. Kang, "Fabrication of a microlens array using micro-compression molding with an elecreoformed mold insert," J. Micromech. Microeng. 13, 98-103. (2002).

[2] M. Gale, 1997, "Replication techniques for diffractive optical elements", Microelectronic Engineering, Vol. 34, pp. 321-339.

[3] S. Moon, S. Kang, and J. Bu, 2002, "Fabrication of polymeric microlens of hemispherical shape using micromolding", Optical Engineering, Vol. 41(9), pp. 2267-2270.

[4] S. Moon, N. Lee, and S. Kang, 2003, "Fabrication of Microlens Array using Micro-compression Molding with Electroformed Mold Insert", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 13, pp. 98-103.

[5] S. Kim, H. Kim and S. Kang, "Development of a UV-imprinting Process for Integrating a Microlens Array on an Image Sensor," Opt. Lett. 31, 2710-2712 (2006).

[6] H. Yang, C. Chao, M. Wei and C. Lin, "High fill-factor microlens array mold insert fabrication using a thermal reflow process," J. Micromech. Microeng. 14, 1197–1204 (2004).

[7] M. He, X. Yuan, K. Moh, J. Bu and X. Yi, "Monolithically integrated refractive microlens array to improve imaging quality of an infrared focal plane array," Opt. Eng. 43, 2589–2594 (2004)