

UV 임프린트를 이용한 이미지 센서용 마이크로 렌즈 어레이 성형 공정 개발

Development of UV imprinting process for micro lens array of image sensor

Ji-Seok Lim[†], Seok-Min Kim^{*}, Gi-Bong Jeong^{*}, Hong-Min Kim^{*} and Shinil Kang^{**}

임지석[†], 김석민^{*}, 정기봉^{*}, 김홍민^{*}, 강신일^{**}

Abstract

High-density image sensors use microlens array to improve photosensitivity. It is conventionally fabricated by reflow process. The reflow process has some weak points. UV imprinting process can be proposed as an alternative process to integrate microlens array on photodiodes. In this study, the UV imprinting process to integrate microlens array on image sensor was developed using UV transparent flexible mold and simulated image sensor substrate. The UV transparent flexible mold was fabricated by replicating master pattern using siliconacrylate photopolymer. The releasing property and shape accuracy of siliconacrylate mold was analysed. After UV imprinting process, replication quality and align accuracy was analysed.

Key Words : 이미지 센서(Image sensor), 마이크로 렌즈 어레이(Microlens array), UV 임프린팅(UV Imprinting), UV 복제(UV replication), 자외선 투과형 몰드

1. 서 론

최근 이미징 모듈의 소형화, 고화소화에 따라 고집적 이미지 센서에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이미지 센서의 고집적화에 따른 포토다이오드의 수광 면적의 감소로 수광 효율이 떨어져 보다 높은 감도의 이미지 센서를 위해 현재 대부분의 이미지 센서에는 각 포토다이오드위에, 집광을 위한 마이크로 렌즈 어레이가 제작되어 있다. 현재 제작되는 이미지 센서의 마이크로 렌즈 어레이는, 반도체 공정과 열처리를 통해 제작된다. 하지만, 이 공정은 상대적으로 복잡하고 많은 비용 및 시간이 소요된다. 또한 공정의 특성상 제작된 마이크로 렌즈는 균일성이 떨어지고,

작은 외란에도 쉽게 불량으로 나타난다는 공정의 한계점이 있다. 마이크로 렌즈의 재료로 사용되는 포토 레지스트 또한, 그 선택의 폭이 한정적이고, 광 특성이 다른 광학용 폴리머에 비해 떨어진다라는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 공정 중 UV 임프린트 공정을 들 수 있다.[1,2] UV 임프린트는 자외선에 의해 경화가 일어나는 광기능성 고분자체와 자외선을 투과하는 몰드를 이용하여 원하는 형상을 기판상에 집적하는 기술이다. UV 임프린트는 전자 특성이 매우 우수하고 성형품의 균일도가 뛰어나며, 다른 복제 방식과 달리 저온, 저압 공정으로서 전자 기판상에 집적이 가능하다는 장점이 있다. 또한 사용되는 광기능성 고분자체는 그 선택의 폭이 넓고, 광학적 성능이 뛰어나다. 본 연구에서는 렌즈 직경 4.55 μm , 높이 1.43 μm , 곡률 반경 2.51 μm 의 이미지 센서 마이크로 렌즈 어레이 UV 임프린트를 이용한 성형에 대해 고찰하였다.

2. 이미지 센서의 마이크로 렌즈 어레이

2.1 마이크로 렌즈 어레이의 필요성

[†] 연세대학교 기계공학과
E-mail : kingdom7979@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2829

^{*} 연세대학교 기계공학과

^{**} 연세대학교 기계공학부

논문접수일 (2005년 10월 4일)

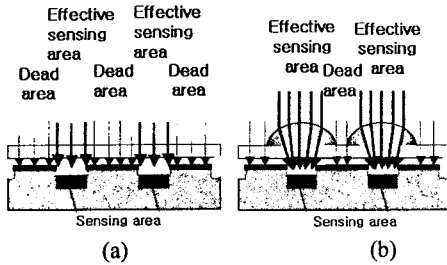


Fig. 1 Comparison of effective sensing area of image sensor

대물렌즈에서 들어온 빛은 이미지 센서 전면에서 전기 신호로 바뀌어 이미징 프로세스를 통해 하나의 이미지로 결정된다. 이미지 센서의 전면은 수광부인 포토 다이오드와, 이의 구동을 위한 배선 및 회로로 이루어져 있다. 즉, 아날로그 필름과 달리, 이미지 센서에는 포토 다이오드를 제외한 이미징에 직접 관련하지 않는 영역이 존재한다. 이를 *dead area* 라고 하고 이것은 필수적이지만 이미지 센서의 효율을 떨어뜨리는 요인이 된다. 최근 이미지 센서의 고집적화에 따라 포토 다이오드의 절대적 면적이 줄어들게 되었다. 즉, 이미지 센서의 감도의 손실로 이어져 이를 극복하기 위해 이미지 센서 전면에 마이크로 렌즈 어레이를 제작하기 시작하였다. Fig. 1은 이미지 센서에서의 마이크로 렌즈 어레이의 필요성을 도식적으로 나타낸 그림이다.[3]

2.2 마이크로 렌즈 어레이의 제작 방법

현재 이미지 센서 상의 마이크로 렌즈 어레이는 반도체 공정과 열처리를 통해 제작된다. 기초 반도체 공정을 통해 제작된 포토 레지스트 기둥을 포토 레지스트의 유리화 온도까지 올려 포토 레지스트의 표면장력에 의해 구면을 형성하게 되는데 이를 마이크로 렌즈로 직접 이용하는 방법이다. 이 공정은 안정성이 상대적으로 떨어진다. 특히 열처리 공정은 반액상의 포토 레지스트는 주위의 작은 진동이나 파티클에 의해 불량으로 나타나기 쉽다. 또한 사용되는 포토 레지스트는 그 선택의 폭이 좁고, 광학적 성능이 일반 광학용 폴리머에 비해 떨어지는 것으로 알려져 있다. 이러한 현재 이미지 센서상의 마이크로 렌즈 어레이 제작 방법의 단점을 보완하기 위해 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 그 중 UV 임프린트 공정의 가능성을 확인하기 위하여 이미지 센서와 동일한 규격을 갖는 가상의 이미지 센서 기판을 제작하여, 이 기판상에 마이크로 렌즈 어레이를 집적하는 실험을 수행하였다.

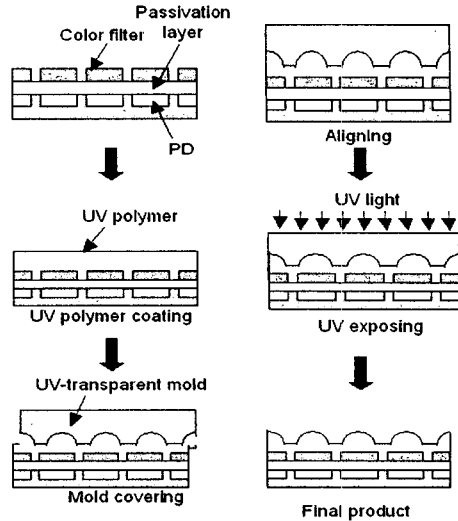


Fig. 2 UV imprinting process for integrating microlens array on image sensor.

3. 임프린트 공정을 통한 이미지 센서용 마이크로 렌즈 제작

3.1 UV 임프린트 공정

UV 임프린트 공정은 자외선에 의해 경화되는 액상의 포토 폴리머와 UV 투과형 몰드를 이용하여 반복적으로 제작이 가능한 복제 방법이다. Fig. 2는 UV 임프린트 공정을 도식적으로 설명한 그림이다. UV 투과형 몰드는 제작된 마스터 패턴을 복제하여 제작되기 때문에 원기를 보존할 수 있다는 경제성을 갖는다. 또한 전사성 및 반복성이 좋고, 저온 저압 공정이기 때문에 전자 기판상에 집적이 가능하다는 장점을 갖는다. UV 임프린트 공정에서 UV를 투과하는 이형성이 좋은 몰드의 제작 및 안정적 복제 공정의 개발은 UV 임프린트 공정에서 가장 중요한 요인이다.[4~6]

3.2 몰드의 제작

마이크로 렌즈 어레이 마스터 패턴은 반도체 공정 및 열처리를 통해 제작되고, 복제 공정을 위해 다양한 재료 및 형태의 몰드가 사용될 수 있으나 원활한 이형을 위해 연성 몰드를 사용하는 것이 적합하다. 또한 이형특성을 정량적으로 측정하기 위해 몰드 표면의 접촉각을 측정하였다.[7] 본 연구에서 연성 몰드 재료로 사용한 실리콘 아크릴레이트 몰드와, 일반 마이크로 복제 공정에서 널리 쓰이는 재료 중 하나인 니켈몰드와 비교하여 측정하였다.

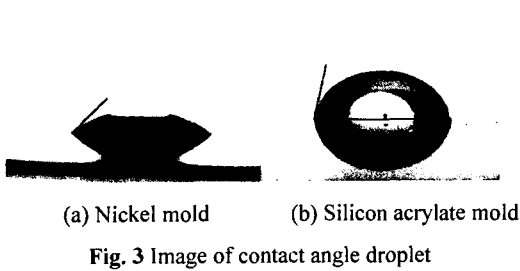


Fig. 3 Image of contact angle droplet

접촉각은 일정량의 광경화성 수지가 몰드 위에 도포되고 일정 시간 후에 CCD 카메라를 이용하여 영상 데이터로 수집된 후 전용 소프트웨어를 통해서 측정되어진다. Fig. 3 은 각각의 몰드에 대하여 도프된 광경화성 수지를 촬영한 사진이다. 그 결과 니켈 몰드에서는 평균 44.97°, 폴리머 몰드에서는 74.36°로 측정 되었다. 즉, 실리콘 아크릴레이트 계열의 폴리머 몰드가 니켈 몰드에 비하여 보다 나은 이형특성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있다.

연성몰드 제작을 위한 폴리머 복제 공정 시 발생 가능한 수평방향 수축은 포토 다이오드와 마이크로 렌즈 어레이의 정렬을 불가능하게 하기 때문에 이의 제어는 매우 중요하다. 수평방향 수축률을 측정하고 평가하기 위해서 본 연구에서는 실리콘 아크릴레이트 계열의 광경화성 몰드와 polydimethylsiloxane(PDMS) 몰드의 수평방향 수축률이 비교되었다. 몰드의 수평방향 수축을 평가하기 위해 2620.2 μm 의 렌즈 어레이 마스터 패턴을 복제하여, 복제물의 수평방향 길이를 측정하였다. Fig. 4는 실리콘 아크릴레이트 몰드와 PDMS 몰드의 수평방향 길이를 측정된 결과이다. 측정결과 실리콘 아크릴레이트 몰드의 길이와 PDMS 몰드의 길이가 각각 2621 μm , 2575 μm 로 측정되었다. 측정된 결과를 바탕으로 PDMS의 수평방향 수축율은 약 1.7% 정도인 것으로 예측될 수 있으며 실리콘 아크릴레이트 몰드의 수축은 무시할 만큼 적은 것으로 평가할 수 있다.

3.3 UV 임프린트 공정

UV 임프린트 공정을 위해, 광원부, 정렬 공정을 위한 광학계 및 정밀 스테이지, 그리고 가압을 위한 모듈로 구성된 UV 임프린트 장비를 사용하였다. Fig. 5는 본 연구에 사용된 UV 임프린팅 장비의 사진이다. 그리고 마이크로 렌즈 어레이의 재료로는, 광학 및 기계적 특성이 우수한 것으로 알려져 있는 실리콘 우레탄 아크릴레이트 소재를 이용하였다. UV 임프린트 공정에서 가장 중요한 공정 변수는 자외선 노광 시간이다.

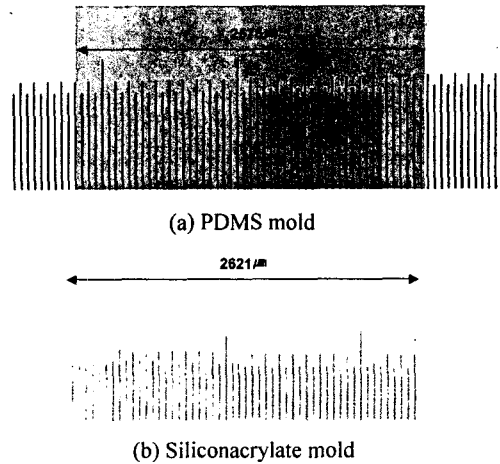


Fig. 4 Comparison of lateral shrinkage of PDMS mold and silicon acrylate mold

본 연구에 사용된 실리콘 우레탄 아크릴레이트 소재의 경화를 위한 적절한 노광시간을 판별하기 위해 Fourier transform infrared(FTIR) spectroscopy를 이용한 경화도 측정 방법을 사용하였다. 경화 정도는 경화 반응 시 재료 내부의 화학적 구조의 변화로 인해 흡수되는 파장대의 변화를 실시간으로 분석하여 반응의 정도를 예측 하는 방법으로 측정되었다. Fig. 6는 본 연구에서 사용된 UV 경화 폴리머의 FTIR spectroscopy 결과이다. UV 경화 폴리머는 미경화된 상태에서 2037 cm^{-1} 와 3100 cm^{-1} 의 웨이브넘버에서 흡수 피크를 가지는데 이러한 흡수 피크는 100 mW/cm^2 의 인텐서티를 갖는 광원에서 노광이 시작된 후 약 10 초 후면 사라졌으며 이후 투과도에 대한 변화는 나타나지 않았다. 즉, 경화 반응이 종결 되었음을 예측할 수 있다. 그리고 UV 임프린트 공정에서 쉽게 발생 할 수 있는 기포를 제거하기 위해 포토 폴리머를 40~50 $^{\circ}\text{C}$ 가량 가열하여 이 문제를 해결하였다.

4. 실험결과

4.1 마이크로 렌즈 어레이의 전사 특성

UV 임프린트 공정의 전사성을 분석하기 위하여 마이크로 렌즈 어레이의 설계치와 제작된 렌즈를 비교하였다. Table 1은 설계치와 시편의 측정결과를 비교한 데이터이다. 렌즈의 측면길이 의 오차는 1.85%, 렌즈의 높이는 0.98%, 그리고 렌즈면의 곡률반경 오차는 1.35% 정도로 이는 설계 공차에 부합되는 결과이다. 또한 마이크로 렌즈 어레이의 표면 거칠기는 RMS 값 기준 1.07 nm 수준으로 광학면으로서 사용하기에 적합한

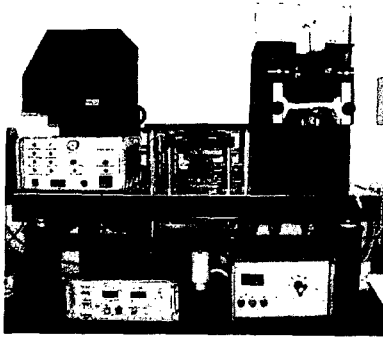


Fig. 5 Image of UV imprinting system

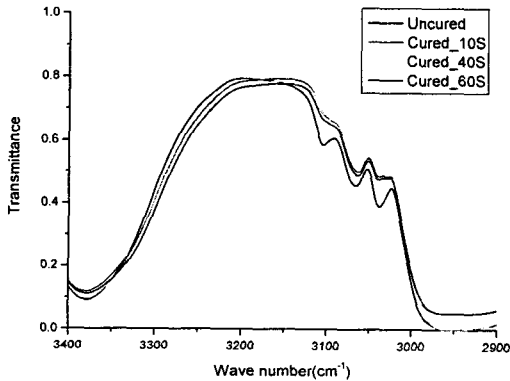


Fig. 6 Measurement result of FTIR spectroscopy for silicon urethan acrylate

것으로 판단된다. 정렬 오차에 대한 고찰을 위해 제작된 시편의 단면을 주사 전자 현미경을 통해 측정하였다. Fig. 7은 주사 전자 현미경 측정 결과이다.

5. 결론

이미지 센서용 마이크로 렌즈 어레이 제작을 위한 UV 임프린트 공정의 가능성을 확인하기 위해 가상의 이미지 센서 기판상에 마이크로 렌즈 어레이를 제작하였다. 이를 위해 높은 이형 특성을 갖고, 높은 형상 정밀도를 갖는 연성 몰드를 제작하였다. 제작된 몰드를 통해 가상의 이미지 센서 기판상에 정렬 / 제작 하였다. 그 결과 UV 임프린트 공정은 현재의 마이크로 렌즈 어레이 제작 방식의 대체 가능성을 확인하였다.

현재 UV 임프린트 공정을 통해 제작된 마이크로 렌즈 어레이의 실제 광 특성을 분석하기 위하여, 광 투과성 가상 이미지 센서를 제작하여, 이의 광 효율을 측정하는 연구가 진행 중에 있다.

Table 1 Summary of geometrical properties of design and molded microlens array

Parameter	Value			
	Designed lens		Molded lens	
Side length (Microscope, AFM)	L	4.65 μ m	L _m	4.634 μ m
Sag height (AFM)	H	1.43 μ m	H _m	1.416 μ m
Radius of curvature	R	2.51 μ m	R _m	2.544 μ m
$ (L-L_m)/L \times 100$	1.85% (0.084 μ m)			
$ (H-H_m)/H \times 100$	0.98% (0.014 μ m)			
$ (R-R_m)/R \times 100$	1.35% (0.034 μ m)			
Surface roughness (AFM)	R _{p-v}	<25.0	11.1nm	
	R _{rms}	< 2.5	1.07nm	
	R _a	< 1.8	0.81nm	

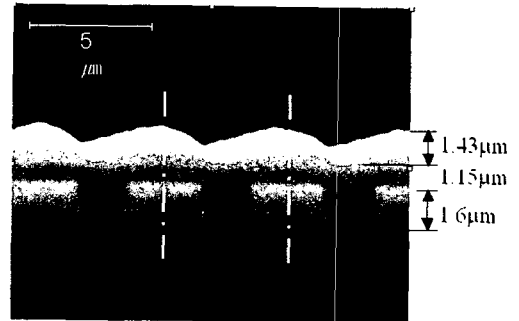


Fig. 7 Cross sectional image of integrated microlens array on simulated image sensor substrate

후기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업 중 “나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광 전자소자 응용” 연구과제 (M1040000321-05J0000-32110)로서 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Z. D. Popovic, R. A. Sprague and G. A. Neville Connell, 1988, “Technique for monolithic fabrication of microlens arrays”, *Appl. Opt.*, 27, pp.1281-1297.
- [2] Y. Sano, T. Nomura, H. Aoki, S. Terakawa, H. Kodama, T. Aoki, and Y. Hiroshima, 1990, “Submicron spaced lens array process technology for a high photosensitivity CCD image sensor”, *Electron*

- Devices Meeting, Technical Digest., International, pp.283-286.
- [3] S. Kang "Image Sensor, Method For Fabricating The Image Sensor, And Mold For Fabricating Micro Condenser Element Array Used In The Same", PCT/KR2004/000728.
- [4] Seok-min Kim and Shinill Kang, 2003, "Replication qualities and optical properties of UV-moulded microlens arrays" Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.36, No.20, pp.2451-2456.
- [5] Seok-min Kim, Dongmook Kim and Shinill Kang, 2003, "Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process' Journal of Microlith., Microfab.,Microsyst., Vol.2, No.4, pp.356-359.
- [6] Shinill Kang, 2004, "Replication Technology for Micro/Nano Optical Components", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43, No.8B, pp.5706-5716.
- [7] Namseok Lee, Su-dong Moon, Shinill Kang and Suho Ahn, 2003, "The Effect of Wettability of Nickel Mold Insert on the Surface Quality of Molded Microlenses", Optical Review, Vol.10, No.4, pp.290-294.