

# DPSS UV Laser를 이용한 미세 반구형상 금형 제작 Fabrication of Micro Hemisphere Mold using DPSS UV Laser

\*민복기, #김재구, 윤홍석, 조성학, 이승숙

\*B. K. Min, #J. G. Kim(gugu99@kimm.re.kr), H. S. Yoon, S. H. Cho, E. S. Lee

한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Micro Hemisphere Mold, DPSS UV Laser, Laser Ablation

## 1. 서론

마이크로 렌즈 어레이는 평판 디스플레이, 광통신 분야 등에 많이 적용되는 중요한 광학 소자이다. 또한 LED(light-emitting diode)의 출력 효율과 휘도 향상을 위해서 LED 칩 위에 돔 형태의 캡슐을 결합시키거나[1] LED의 투명전극 위에 마이크로 렌즈 어레이의 패턴을 형성시키는 방법[2] 등이 연구 되고 있다. 최근에 이러한 마이크로 렌즈 어레이를 제작하는 방법으로 Thermal Reflow[3], Gray-scale Photolithography[4], UV laser Ablation[5], Hot Embossing[6] 등이 많이 연구 되고 있다. Q-switched DPSS(diode pumped solid-states) UV laser를 이용하여 금속 물질을 어블레이션하는 경우 비교적 낮은 에너지에서 가능하고, 공정이 간단한 장점이 있지만, 가공 부위의 열적 손상과 이에 따른 찌꺼기(debris)의 발생, 그리고 형상 재현의 어려움 등의 단점이 있다. 이 경우 금속에 PR(photoresist)를 입혀 PR을 어블레이션하고 금속을 습식 식각함으로써 레이저 어블레이션에 따른 기관의 손상을 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 LED의 출력 효율과 휘도를 극대화시킬 목적으로 미세 반구형상 금형을 제작하기 위해 DPSS UV laser를 이용하여 PR을 패턴닝하고 구리기판을 습식 식각하였다. 반구형상의 구리기판에 골고루 PR을 코팅하기 위해 공기를 분사시키면서 회전하는 방법을 고안하였고, 분사압력과 회전속도에 따른 최적의 코팅 조건을 고찰하였다. 또한 레이저의 출력과 가공 면적을 변화시키면서 미세 반구형상의 금형을 제작하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 실험 장치

미세 반구형상의 금형 가공을 위한 실험 장치도는 Fig. 1과 같다. 이는 크게 광학부, 가공부, 제어부 세부분으로 나눌 수 있다. 우선 본 실험을 위한 광원으로써 Coherent사의 AVIA laser로써 Q-switched DPSS laser를 사용하였다. 이 레이저의 파장은 355 nm이고, 반복률 15 kHz에서 평균 출력은 1.5 W이다. 출력된 빔은 배율이 20배이고 NA가 0.4인 대물렌즈를 통해 가공물에 집중되었다. 대물렌즈와 가공물은 각각 서보모터에 의해 Z축과 X, Y축으로 조절 가능한 스테이지에 장착되었다. 백색광을 이용하여 가공면에서 반사된 빔이 가공렌즈를 통하여 CCD에 입사되어 가공면을 모니터로 관찰할 수 있었다. 레이저와 스테이지를 컴퓨터로 제어하기 위해서 DELTA TAU사의 PMAC(programmable multi-axes controller)를 사용하여 가공을 위한 프로그램을 설계하였다.

### 2.2. 실험 방법

미세 반구형상의 금형제작을 위해 반구형의 구리 금형을 설계, 제작하였다. 밀링머신으로 가공된 곡면 내부의 표면이 정교하지 않아 크리스탈 다이아몬드 연마제(Diamond suspension 6  $\mu\text{m}/1 \mu\text{m}$ )를 사용하여 곡면 내부를 연마하여 곡면 내부를 매끈하게 하였다. PR 코팅을 위해 자체 제작한 홀드를 스핀 코터에 장착하여 곡면 내부에 코팅하였다. 이 때 일정한 압력으로 공기를 분사시키면서 회전시켜 PR이 내부 표면에 골고루 퍼지게 하였다. PR은 positive photoresist로 AZ GXR-601를 사용하였고, 분사 압력과 회전 속도를 조절하여 최적의 코팅조건을 도출하였다. 그리고 hot-plate에서 120  $^{\circ}\text{C}$ 로 5분 동안 baking하고 자연냉각 하였다. 반구형의 표면을 가공하기 위해 PMAC 프로그램을 이용하여

가공 속도와 가속도, 가공 최대 반경, 홀 개수와 곡률에 따른 레이저빔의 초점위치를 설정하였다. 주요 가공 변수는 레이저의 출력으로 고정하였다.

마이크로 홀 어레이 형태로 가공된 PR을 식각 마스크로 하여 자체 제작한 구리 식각액으로 5분 동안 실온에서 식각하였다. 구리 식각액은 30%  $\text{FeCl}_3$ +3%  $\text{HCl}$ +67%  $\text{H}_2\text{O}$ 의 비율로 혼합하여 제작하였다.[7] 이와 같이 제작된 마이크로 홀의 형상과 표면, 그리고 홀의 반경, 깊이를 측정하기 위해서 광학현미경과, TOPCON사의 주사 전자 현미경(SM-300), 그리고 ZEISS사의 레이저 공초점 주사 현미경(LSM pascal)을 사용하였다.

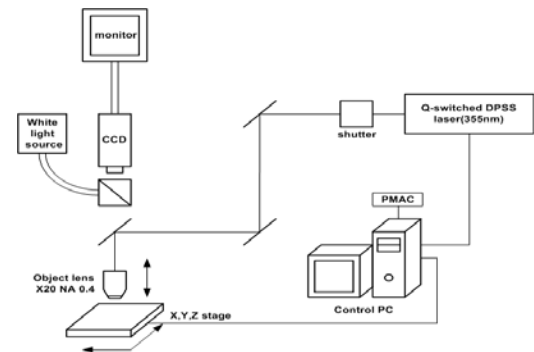


Fig. 1 Experimental set-up for micro-hole arrays machining using Q-switched DPSS laser(355 nm)

## 3. 실험 결과 및 고찰

가공에 적절한 PR 코팅 조건을 찾기 위해 공기의 분사 압력과 회전속도를 각각 0.02, 0.04, 0.06 MPa과 2000, 3000 rpm으로 조절하여 실험하였다. 각 조건에 대해서 코팅을 한 후 레이저로 가공한 결과 Fig. 2에서 보는 것과 같이 공기의 분사 압력과 회전속도가 0.02 MPa, 3000 rpm 일 때 전체적으로 가공됨으로써 PR이 반구형 표면에 일정한 두께로 코팅되어 있다는 것을 알 수 있다. 반구형 표면에 마이크로 홀 어레이 형태로 PR을 패턴닝하기 위해 시편 이송 속도는 20 mm/s, 최대 반경은 1.1 mm, 홀의 증가 개수는 3, X축 이동 간격은 0.05 mm로 하였다. 또한 가공물의 곡률에 따라 레이저 빔의 초점 위치가 일정하도록 설계하였다. 레이저의 펄스 반복율과 셔터 속도는 각각 15 kHz, 100 ms로 고정하였고, 대물렌즈를 통과하여 집중된 레이저의 출력은 0.2 W, 0.25 W, 0.4 W, 0.6 W로 조절하여 최적의 가공 조건을 도출하였다. 가공된 시료를 구리 식각액으로 5분동안 흔들면서 식각하고 남아있는 PR을 제거하여 반구형의 마이크로 홀 어레이 구리 금형을 제작하였다. Fig. 3은 레이저의 출력에 따른 가공된 홀의 직경과 깊이에 대한 그래프이다. 그림에서 보듯이 레이저의 출력이 0.2 W일 때 홀의 직경과 깊이가 각각 11.75  $\mu\text{m}$ , 6.02  $\mu\text{m}$ 로 측정되었고, 0.25 W일 때는 19.98  $\mu\text{m}$ , 9.77  $\mu\text{m}$ , 0.4 W일 때는 20.11  $\mu\text{m}$ , 10.78  $\mu\text{m}$ , 그리고 0.6 W일 때는 23.78  $\mu\text{m}$ , 12.04  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 실험결과 레이저 출력이 0.2 W 이하에서는 가공이 되지 않음을 알 수 있었다. Fig. 4는 레이저의 출력이 0.6 W일 때 가공된 구리금형의 광학 현미경, 주사 전자 현미경, 레이저 공초점 주사 현미경 이미지이다. 그림을 보면 반구형의 구리 기판 전체 표면에 비슷한 크기의 홀이 가공됨을 알 수 있다. 또한 식각된 홀의 표면이 매끄럽지 않음을 볼 수 있는데

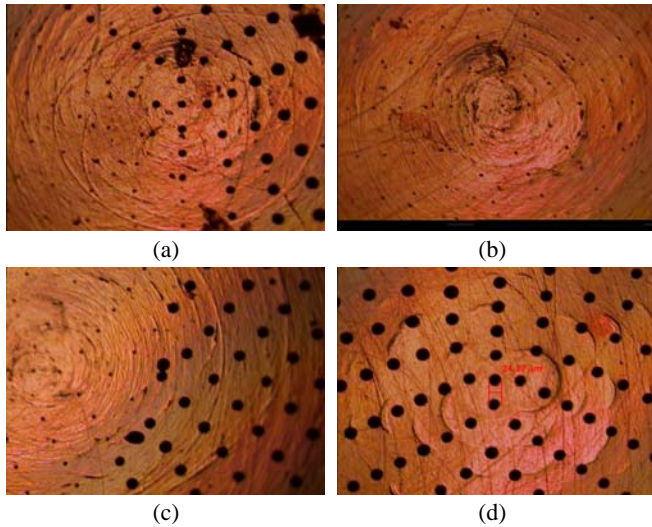


Fig. 2 Optical microscope image of microhole arrays by spin speed and air spray pressure at laser power 0.6 W : (a) 2000 rpm, 0.02 MPa (b) 2000 rpm, 0.04 MPa (c) 2000 rpm, 0.06 MPa (d) 3000 rpm, 0.02 MPa

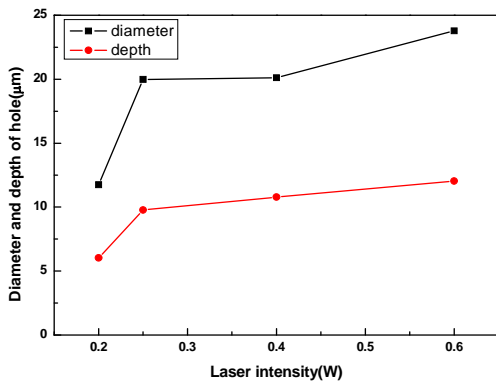


Fig. 3 Diameter and depth of hole versus laser output power

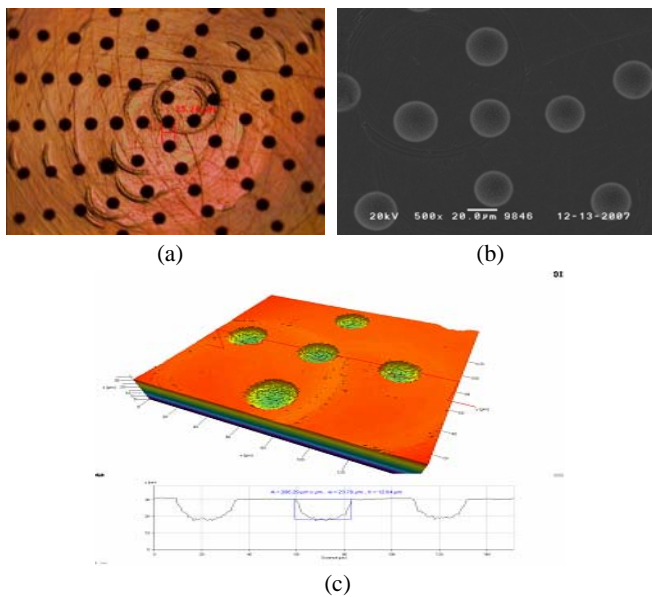


Fig. 4 (a) optical microscope image (b) SEM image (c) laser confocal microscope image of micro hemisphere mold at laser power 0.6 W

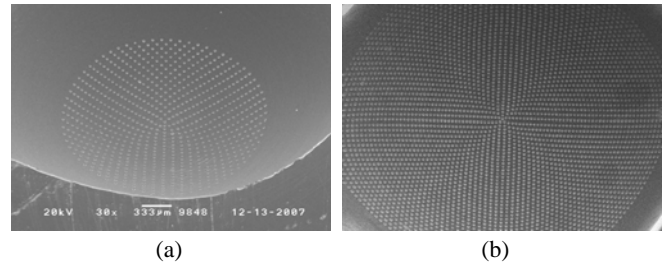


Fig. 5 SEM image of micro hemisphere mold by hole increase number and machining maximum radius : (a) 3, 1.1 mm (b) 4, 1.8 mm

이는 습식 식각 공정에서 불순물의 삽입이나 식각액의 농도 조절의 문제로 사료된다 Fig. 5는 가공되는 최대 반경과 홀의 개수를 변화시켜 가공한 반구형 금형의 주사 전자 현미경 이미지로써 Fig. 5(a)는 가공 최대 반경이 1.1 mm, 홀의 증가횟수는 3이고, Fig. 5(b)는 가공 최대 반경이 1.8 mm, 홀의 증가횟수는 4로 설정하여 가공한 이미지이다.

#### 4. 결론

미세 반구형상의 금형 제작을 위해 DPSS UV laser를 이용하여 PR을 패터닝하고 식각액으로 습식 식각을 하였다. 일정한 압력의 공기를 분사시키면서 회전을 하는 방법으로 가공에 적합한 PR 코팅을 하였고, 회전 속도와 분사 압력을 조절하여 최적의 조건을 도출하였다. 그 결과 회전 속도와 분사 압력이 각각 3000 rpm, 0.02 MPa 일 때 표면 전체에 골고루 코팅됨을 알 수 있었다. 또한 반구형의 표면에 일정한 세기와 패턴으로 레이저 가공을 하기 위해서 PMAC 프로그램을 이용하여 가공 속도와 가속도, 가공 최대 반경, 홀 개수와 곡률에 따른 레이저빔의 초점 위치를 설정하여 가공하였다. 레이저의 출력을 가공 변수로 하여 가공한 결과 출력이 0.2 W 일 때 가공 임계치가 됨을 확인 하였고, 이 가공 임계치 이상에서 레이저의 출력을 증가시키면서 홀의 직경과 깊이를 조절하였다. 또한 홀의 개수를 변화시키면서 가공하여 미세 반구형상의 금형을 제작하였다.

#### 참고문헌

1. H. Luo, J.K. Kim, Y.A. Xi, E.F. Schubert, J.H. Cho, C.S. Sone, and Y.J. Park, "Trapped whispering-gallery optical modes in white light-emitting diode lamps with remote phosphor," Appl. Phys. Lett. 89, 041125, 2006
2. K.H. Kim, J.H. Shin, N.M. Park, C. Huh, T.Y. Kim, K.S. Cho, J.C. Hong, and G.Y. Sung, "Enhancement of light extraction from a silicon quantum dot light emitting diode containing a rugged surface pattern," Appl. Phys. Lett. 89, 191120, 2006
3. D.Daly, R.F. Stevens, M.C. Hutley, N. Davies, "The manufacture of microlenses by melting photoresist," Meas. Sci. Technol. 1, 759-766, 1990
4. K. Totsu and M. Esashi, "Gray-scale photolithography using mask-less exposure system," J. Vac. Technol. B 23, 1487-1490, 2005
5. S. Mihailov and S. Lazare, "Fabrication of refractive microlens arrays by excimer laser ablation of amorphous Teflon," Appl. Opt. 32, 6211-6218, 1993
6. N.S. Ong, Y.H. Koh and Y.Q. Fu, "Microlens array produced using hot embossing process," Microelectron. Eng. 60, 365-379, 2002
7. F.Y. Zhang, A.K. Prasad and S.G. Advani, "Investigation of a copper etching technique to fabricate metallic gas diffusion media," J. Micromech. Microeng. 16, N23-N27, 2006