

## 광경화성 폴리머를 이용한 레이저 미세패터닝의 기초연구

김정민\*, 신보성, 김재구, 장원석, 양성빈 (한국기계연구원)

### A Study on Laser Micro-Patterning using UV Curable Polymer

J. M. Kim\*, B. S. Shin, J. G. Kim, W. S. Chang, S. B. Yang (KIMM)

#### ABSTRACT

Maskless laser patterning process is developed using 3rd harmonic Diode Pumped Solid State Laser with near visible wavelength of 355 nm. Photo-sensitive curable polymer is irradiated by UV laser and developed using polymer solvent to obtain quasi-3D patterns. We performed basic experiments for the various process conditions such as laser power, writing speed, laser focus, and polymer optical property to gain the optimal conditions. Experimentally, the patterns of trapezoidal shape were manufactured into dimension of 8  $\mu\text{m}$  width and 5.4 $\mu\text{m}$  height. This process could be applied to fabricate a single mode waveguide without expensive mask projection method.

**Key Words :** Micro pattern (미세 패턴), Cure (경화), Polymer (폴리머), Waveguide (도파로)

#### 1. 서론

첨단산업의 발전으로 전자, 광, 반도체 등 각종 산업에 걸쳐 부품의 극소화, 경량화 그리고 집적화 추세가 확대되고 있으며, 이에 부응하기 위하여 기존의 공정을 대체할 수 있는 신 공정기술의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 다품종 소량생산, 신제품 개발주기의 단축과 특수 전용부품의 주문제작이 증가함에 따라 유연성 있게 이에 대처할 수 있는 공정 기술개발의 필요성이 크게 대두되고 있다.

최근 광통신 분야에서는 광대역 중합정보시스템(B-ISDN)의 실현으로 대용량 정보전송이 가능하게 되었다. 이에 따라 초고속, 광대역 통신 및 신호처리 시스템에서 광회로의 집적화가 요구되고, 평판 광소자의 역할이 커지고 있다. 지금까지 이러한 광소자 및 부품들은 반도체 실리콘 계열의 재료를 근간으로 발전되어 왔으나, 고가며 상용화 되기에는 부적합하다. 이에 비해 고분자 재료는 물성조절이 용이하며, 반도체나 실리콘보다 전기광학계수가 높아 소자 제작 시 빠른 응답속도, 넓은 광대역폭을 가지고 있다. 또한 저가·저온공정으로 소자 제작이 단순, 가공 용이, 가격 경쟁력이 높아 집적화에 매우 유리하다<sup>(1-4)</sup>.

레이저를 이용한 공정은 고분자 재료를 이용하여

마스크 없이 저온공정으로 제조할 수 있어 제작시간이 짧으며, 시제품을 저렴하게 대량 생산할 수 있다. 또한 기존의 마스크-노광 공정에 의해 형성되어지는 위상형태 뿐만 아니라 노출 광의 세기를 변화시킴으로써 임의의 굴곡형태의 표면 제작도 가능하다. 임의의 연속 위상 분포를 갖는 마이크로 광학 부품들(Fresnel 렌즈 등)을 한번의 공정을 제작할 수 있기 때문에 많은 수의 소자들을 집적하여 평판 집적 광회로를 구성하는데 있어서 매우 유리하다. 이러한 레이저를 이용한 공정은 고분자에 레이저 빔 조사하여 미세 패턴을 형성시키면 패턴이 형성된 부분에 굴절률을 변화시킬 수 있으며, 광도파로로써 구현이 가능하다<sup>(5-9)</sup>. 고분자의 굴절률을 변화시키는 방법에는 1) 광중합 가능한 단량체 또는 올리고머 2) 광개시제 또는 발색단 첨가 3) 유기-무기 복합재료를 합성함으로써 가능하다.

따라서 본 논문에서는 3 고조파 DPSS 레이저( $\lambda_3 = 355 \text{ nm}$ )를 이용하여 광도파로용으로 활용 가능한 미세패턴 제작을 하였다. 또한 사용하는 레이저 파장대에서 흡수율을 높여 경화가 잘 일어나게 하기 위해 광개시제 성분을 첨가한 UV 경화성 불소계 아크릴레이트를 사용하였다. 또한 레이저 초점(laser focus), 레이저 출력(laser power), 묘화 속도(writing speed) 등 공정 조건을 변화해 가며 기초설

험을 하였으며, 제작된 미세패턴 형상은 전자현미경(scanning electron microscope)을 사용하여 관찰하였다.

## 2. 실험 방법

레이저를 이용한 미세패턴 제작은 재료를 식각시키는 방법과 경화시키는 두 가지 방법이 있다. 본 논문에서는 UV 경화성 폴리머를 사용하여 경화시키는 방법을 이용하였으며, 그 방법은 다음과 같다. 기질 위에 UV 경화성 폴리머를 스핀 코팅한 후 UV 레이저 빔을 선별적으로 조사하면, 조사된 부분 재료는 서로 가교 결합(cross-linked)되어 망상구조를 이뤄 경화되어지고, 현상을 하면 빔이 조사되어 경화된 부분은 화학적으로 침식되지 않아 광도파로가 형성되어진다. 이러한 레이저를 이용한 미세 패턴 제작은 고분자의 재료 특성을 고려하여 굴절률 차이를 제어할 수 있는 레이저 출력, 묘화 속도 등의 레이저 조사 조건설정은 재료의 굴절률 차이, 경화 밀도, 빔 확산 제어, 폴리머의 경화되는 두께를 결정하는 중요한 인자이다.

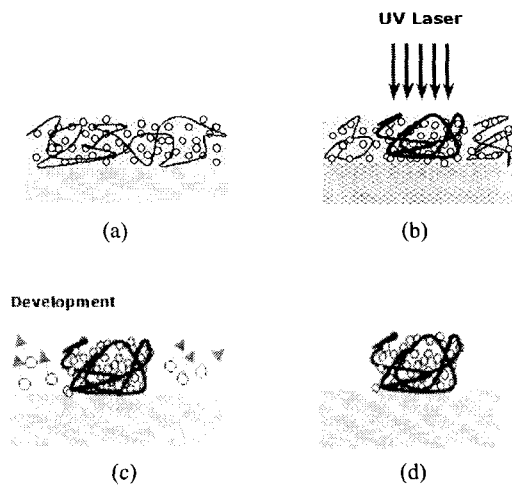


Fig. 1 UV laser polymerization method

- (a) polymer coating
- (b) photo-induced polymerization by UV exposure
- (c) development
- (d) waveguide pattern

미세 패턴 제작을 위해 사용한 전체 레이저 시스템 사진은 Fig. 2 와 같다. 레이저는 Q-Switched DPPSL (Diode-Pumped Solid-State Laser, Coherent Co.)이며, 파장 355 nm, 펄스 폭 40 ns, 빔 직경 2.4 mm 인 가우시안(Gaussian) 분포를 가진다. 레이저 빔은 대물렌즈에 집광하여 재료에 조사된다. 그 사이에 레이저 빔은 편광기(polarizer), ND (neutral density) 필

터, 반사경(mirror)을 지나가게 되며 이러한 광학계들은 레이저 출력을 조절할 수 있다. 레이저 빔의 최소 직경(spot)은 레이저 시스템과 광시스템의 개구수(numerical aperture)를 사용함으로써 결정된다.

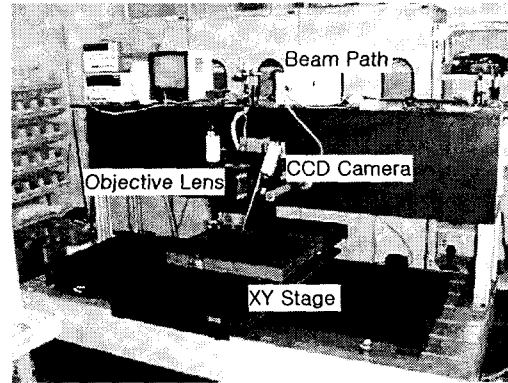


Fig. 2 Photograph of DPSSL system

또한 XY 스테이지를 사용함으로써 시편을 이동할 수 있게 하였다. 정밀도 0.1  $\mu\text{m}$  인 리니어 모터와 리니어 스케일로 구성된 XY 스테이지와 정밀도 1.0  $\mu\text{m}$  인 DC 서보 모터로 구성된 Z 축 스테이지 그리고 각 스테이지를 PMAC 제어기를 사용하여 제어함으로써, 스테이지의 위치정도, 선속정도를 향상시킬 수 있었다. 이러한 스테이지의 정도를 향상시킴으로써 패턴의 묘화정도 및 묘화속도를 향상시킬 수 있었다. 또한 이러한 각 축 제어기와 더불어선 가공 정도를 높이기 위해 가공 소프트웨어는 VC++를 이용하여 직접 개발하였다.

## 3. 실험 결과

본 논문에서는 사용한 UV 파장 레이저에 대한 폴리머의 미세패턴 형성을 위한 최적 공정조건을 선정하기 위하여 기초실험을 수행하였다. 실험에 사용한 폴리머는 광도파로와 박막코팅에 널리 사용되는 UV 경화성 불소계 아크릴레이트 폴리머인 ZPLW270(Zenphotonics. Co.)<sup>(10)</sup>이며, 넓은 범위에서 다양한 굴절률 재료로 사용된다. ZPLW270 은 Slab waveguide 의 광손실은 장거리 파장대인 1550 nm 에서 약 0.3 dB/cm 이며, 굴절률은 약 1.47, 유리전이 온도는 180 $^{\circ}\text{C}$  이었다. 레이저 파장대인 350 nm 영역에서 경화가 잘 일어나게 하기 위해 광개시제(photoinitiator)를 코팅층 성분의 2% 첨가하였다.

Fig. 3 은 폴리머의 UV 감광하기 전과 후의 흡수 스펙트럼이다. 350 nm 에서의 흡수는 광개시제 성분에 의한 것이며, 280 nm 전의 흡수는 폴리머 자체에 의한 것이다. 필름의 감광성(photosensitivity) 정도를

알기 위해 3 분 동안 마스크 정렬 시스템(mask aligner system)에서 수은 램프에서 감광시켰다. 이때 전체 감광 시킨 에너지는 약  $15 \text{ J/cm}^2$  이었다. 폴리머 코팅 층 두께는 UV 감광을 고려하여  $6 \mu\text{m}$  로 하였다.

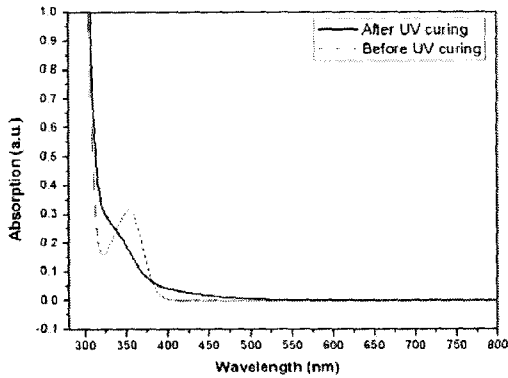


Fig. 3 Absorption spectrum of ZPLW270

레이저 초점 크기와 심도(depth of focus)는 패턴 제작시 선폭을 결정짓는 중요한 인자이다. 일반적으로 많이 쓰이는 가우시안 분포의 빔 초점크기는 Rayleigh 기준으로부터 구할 수 있으며 식(1)과 같다. 초점 심도는 Rayleigh 영역에서 식(2)와 같다. 고배율 대물렌즈는 개구수가 커지므로 초점 심도가 짧아진다.

$$d = 1.22 \frac{\lambda f}{2a} = 1.22 \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

$$\Delta z = \frac{n\lambda}{NA^2} \quad (2)$$

여기서 개구수, NA, 0.13, 빔 초점 거리, f, 11.53 mm 인 대물렌즈(microscope objective)를 사용하였으며, 식 (1)과 (2)를 통해 이론적으로 계산한 값은 초점크기  $3.3 \mu\text{m}$ , 초점심도  $31.5 \mu\text{m}$  이다.

Fig. 4 는 묘화 속도가  $400 \text{ mm/min}$ , 레이저 출력  $0.5 \text{ mW}$  일때, 레이저 초점에 따른 선폭 변화를 나타낸 것이다. 실험에서 얻어진 데이터는 Fig. 4 에서 볼 수 있듯이  $8 \mu\text{m}$  로 관찰되었다. 대물렌즈를 사용할 경우 레이저 빔의 초점 심도가 짧아지며 정확한 초점에서 제작된 패턴은 레이저 조사시 폴리머의 열 영향부에 의해 이론적으로 계산 값보다 넓은 패턴을 얻었다.

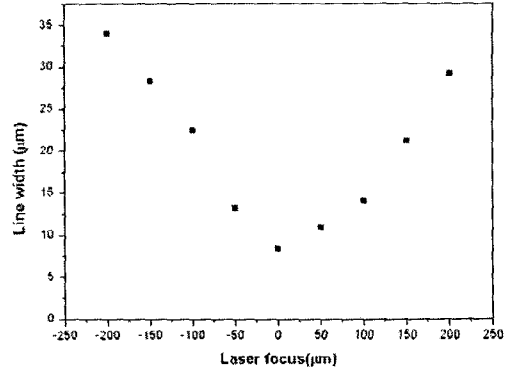
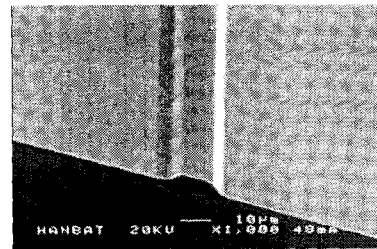
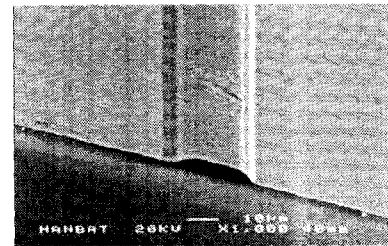


Fig. 4 Curves of line width with laser focus

Fig. 5 (a) 와 (b)는 레이저 출력을 변화하면서 제작된 미세패턴의 형상의 촬영하기 위해 전자현미경 사진이다. 가우시안 분포를 가지는 레이저를 이용한 경우 빔의 출력값에  $1/e^2$  ( $e$  : beam diameter) 이상에서 가공이 되어진다. 레이저 출력이 높아지면 폴리머 재료의 단위면적당 가해지는 출력이 높아지고 열영향부가 커져 미세 패턴의 선폭이 두꺼워졌다. 제작된 미세패턴은 사다리꼴 형태이며, 이것은 레이저 빔의 형상인 가우시안 빔 형태를 보여주고 있다. 레이저 출력을  $0.5 \text{ mW}$  로 하여, 묘화속도를  $200, 400, 600 \text{ mm/min}$  으로 바꾸어 가면서 실험한 결과 선폭은 각각  $10.2 \mu\text{m}, 8 \mu\text{m}, 8.6 \mu\text{m}$  으로 큰 영향을 미치지 않는았다.



(a)



(b)

Fig. 5 SEM Photograph of micro pattern shapes with writing speed  $400 \text{ mm/min}$  and laser power (a)  $0.5 \text{ mW}$  (b)  $1.0 \text{ mW}$

#### 4. 결론

본 논문은 UV 레이저를 이용하여 광도파로용 미세패턴을 제작하였다. 사용한 재료는 광경화성 불소계 아크릴레이트 폴리머이며, 사용한 레이저 파장대에서 광반응을 잘 일으키게 하기 위해 광개시제 성분을 첨가하여 제작하였다. 레이저 미세패턴을 제작을 위해 DPSS 레이저 시스템( $\lambda_3 = 355$  nm)으로 레이저 출력, 초점, 묘화속도 등 공정조건을 바꾸어가면서 수행하였다. 그 결과 단면이 사다리꼴 형상인 미세 패턴을 얻었으며, 이것은 광도파로용으로 사용할 경우 코어부분으로 사용할 수 있다. 미세패턴 제작을 위해 레이저 빔을 대물렌즈를 통과하게 하여 빔 크기를 작게 하였다. 레이저 출력과 초점에 의해 선폭 차가 많이 났으며 묘화속도는 큰 영향을 미치지 않았다. 이론적으로 계산한 값은  $3.3 \mu\text{m}$  이었으나, 레이저 조사시 폴리머 재료의 열영향부에 의해 제작된 미세패턴은 선폭  $8 \mu\text{m}$ , 높이  $5.4 \mu\text{m}$  이었다. 향후 레이저를 이용하여 제작된 미세패턴은 광도파로용으로 사용할 수 있으며 대면적 광백플레인, 직접회로소자 등에 응용될 수 있다.

#### 후 기

본 논문은 산업자원부·정보통신연구부가 지원하고 있는 IMT-2000 정부출연금기술개발 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 광소자 제조를 위한 Laser Beam Direct Writing System 개발 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. L. Eldada, C. Xu, K. M. T. Stengle, L. W. Shacklette, and J. T. Yardly, "Laser-Fabrication Low Loss Single-Mode Raised-Rib Waveguiding Device In Polymer," J. Lightwave Technol. Vol.14, pp.1704, 1996
2. A. Fardad, M. Andrews, G. Milova, A. Malek-Tabrizi and I. Najafi, " Fabrication of ridge waveguides: a new solgel route," Appl. Opt. Vol.37, pp. 2429, 1998
3. R. Chraters and B. Luther-Davis, SPIE Proc. Vol. 4279, pp. 101, 1988
4. N. Okamoto and S. Tashiro, Opt. Commum. Vol . 66, pp. 93, 1998
5. D. B. Chrisey, A. Pique, J. Fitz-Gerald, R. C. Y. Auyeung, R. A. McGill, H. D. Wu, M. Duignan, "New approach to laser direct writing active and passive

mesoscope circuit elements", Applied Surface Science Vol.154-155, pp. 594-600, 2000

6. J. I. Jung, O. H. Park and B. S. Bae, "Fabrication of channel waveguide by photochemical self-developing in doped sol-gel hybrid glass", J. Sol-Gel Tech. Vol. 26, pp. 897-901, 2003
7. B. S. Bae, O. H. Park, R. Charters, B. Luther-Davies, G. R. Atkins, " Direct laser writing of self-developed waveguides in benzyl dimethyl ketal-doped sol-gel hybrid glass", J. Mat. Res. Vol. 16, No. 11, pp. 3184-3187, 2001
8. C. Wang, Y. Chan and Y. Lam " Fabrication of diffractive optical elements with arbitrary surface-relief profile by direct laser writing", Opt, Eng., Vol .41, No.6, pp.1240-1245, 2002
9. J. R. Salgueiro, J. F. Roman and Vicente Moreno, " System for laser writing to lithography masks for integrated optics", Opt, Eng., Vol.37, No 4, pp.1115-1123, 1998
10. [www.zenphotonics.com](http://www.zenphotonics.com)