

## 레이저 직접묘화기법에 의한 광도파로 제작에 관한 연구

신보성\* · 김정민 · 김재구 · 조성학 · 장원석 · 양성빈(한국기계연구원)

### A Study on Fabrication of Optical Waveguide using Laser Direct Writing Method

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

#### Abstract

Laser direct writing process is developed 3rd harmonic Diode Pumped Solid State Laser with the near visible wavelength of 355 nm sensitive polymer is irradiated by UV laser and developed using polymer solvent to obtain quasi-3D. It is important to reduce line width for image mode waveguides, so some investigations will be carried out in various conditions of process parameters such as laser power, writing speed, laser focus and optical properties of polymer. This process could be to fabricate a single mode waveguide without expensive mask projection method. Experimentally, the patterns of trapezoidal shape were manufactured into dimension of 8.4 mm width and 7.5 mm height. Propagation loss of straight waveguide measured 3 dB/cm at 1,550 nm.

**Key Words** : Laser direct writing(레이저 직접묘화), Cure(경화), Polymer(폴리머), Waveguide(도파로)

#### 1. 서 론

최근 광대역 종합정보시스템의 실현으로 대용량 정보 전송이 가능함에 따라 초고속, 광대역 통신 및 신호처리 시스템에서 광회로의 집적화가 요구되고, 평판 광소자의 역할이 커지고 있다. 지금까지 이러한 광소자 및 부품들은 반도체 실리카 계열의 재료를 근간으로 발전되어 왔으나, 고가이어서 상용화되기에는 부적합하다. 이에 비해 고분자 재료는 물성조절이 용이하며, 반도체나 실리카보다 전기광학계수가 높아 소자 제작 시 빠른 응답속도, 넓은 광대역폭을 가지고 있다. 또한 저가-저온공정으로 소자 제작이 단순, 가공용이, 가격 경쟁력이 높아 집적화

에 매우 유리하다<sup>(1)</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. 이러한 레이저를 이용한 공정은 고분자에 레이저 빔 조사하여 미세 패턴을 형성시키면 패턴이 형성된 부분에 굴절률을 변화시킬 수 있으며, 이 부분은 광도파로의 코어부분으로 구현이 가능하다<sup>(2-5)</sup>. 고분자의 굴절률을 변화시키는 방법에는 광중합 가능한 단량체, 광개시제 또는 발색단 첨가 및 유기-무

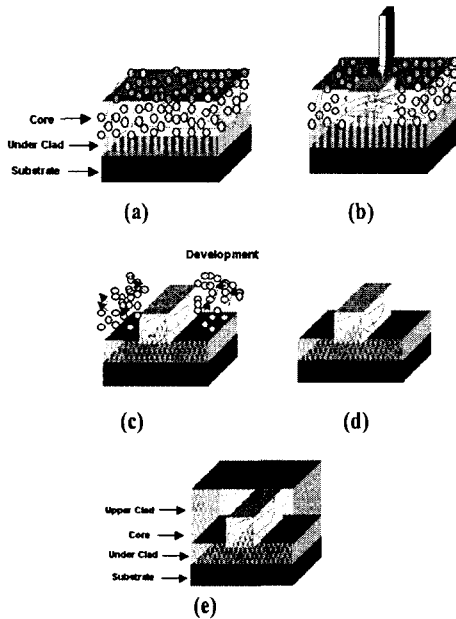
\* 한국기계연구원 지능형 정밀기계연구부

기 복합재료를 합성함으로써 가능하다.

따라서 본 논문에서는 3고조파 DPSS 레이저 ( $\lambda_3 = 355$  nm)를 이용하여 UV 경화성 불소 폴리머를 사용하여 광도파로용 미세패턴 제작을 하였다. 또한 레이저 초점 (laser focus), 레이저 출력(laser power), 묘화 속도 (writing speed) 등 공정 조건을 변화해 가며 도파로 코어용 미세패턴 제작하였으며, 패턴의 단면과 직선 도파로의 손실을 측정했다.

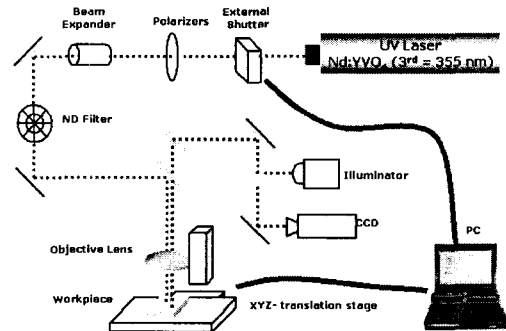
## 2. 실험 방법

본 논문에서는 UV경화성 폴리머를 사용하여 경화시키는 방법을 이용하였으며, 그 방법은 다음과 같다. 기질 위에 UV경화성 폴리머를 스핀 코팅한 후 UV레이저 빔을 조사하면, 조사된 부분 재료는 서로 가교 결합 (cross-linked) 생겨 경화되어지고, 현상을 하면 경화된 부분은 화학적으로 침식되지 않아 광도파로의 코어 부분이 형성되어진다. 그 후 상부클래드 층을 입히면 코어와 클래드의 굴절률 차로 인해서 광이 도파할 수 있는 도파로가 형성되어진다.



**Fig. 1. UV laser polymerization method**  
 (a) polymer coating  
 (b) photo-induced polymerization by UV exposure  
 (c) development  
 (d) Fabricated core and coating upper clad  
 (e) waveguide

이러한 레이저를 이용한 미세 패턴 제작은 고분자의 재료 특성을 고려하여 굴절률 차이를 제어할 수 있는 레이저 출력, 묘화 속도 등의 레이저 조사 공정조건은 재료의 굴절률 차이, 경화밀도, 빔 확산 제어, 폴리머의 경화되는 두께를 결정하는 중요한 인자이다. 도파로 코어 부분의 패턴 제작을 위해 사용한 전체 레이저 시스템 개략도는 Fig. 2와 같다. 레이저는 DPSSL(Diode-Pumped Solid-State Laser, Coherent Co.)이며, 자세한 사양은 Table 1과 같다. 레이저 빔은 대물렌즈에 집광하여 재료에 조사되며, 레이저 출력 조절을 위해 편광기(polarizer), ND(neutral density) 필터, 반사경(mirror)을 구성하였다.



**Fig. 2 Schematic of DPSSL system**

**Table 1 Specification of DPSS Laser**

Wavelength	$\lambda_3 = 355$ nm
Average power	0.8 W at 60 kHz
Beam diameter	2.4 m
Beam divergence	0.3 mrad
Pulse repetition	1 ~ 100 kHz
Pulse duration	< 40 ns

또한 XY 스테이지를 사용함으로써 시편을 이동할 수 있게 하였다. 정밀도 0.1  $\mu$ m 인 리니어 모터와 스케일로 구성된 XY 스테이지와 정밀도 1.0 m인 DC 서보 모터로 구성된 Z축 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 더불어 선 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. 사용한 폴리머는 UV 경화성 불소계 폴리머인 ZPLW207(Zenphotonics. Co.)<sup>(6)</sup>이다. Fig. 3은 사용한 폴리머의 흡수 스펙트럼이다. 280 nm 전의 흡수는 아크릴레이트 의한 것이며, 350 nm의 흡수는 광개시제 성분에 의한 것이다. 필름의 감광성 정도를 알기 위해 3분 동안 마스크 정렬 시스템(mask aligner system)에서 수은 램프에서 감광시켰다. 이때 전체 감광시킨 에너지는 약 15 J/cm<sup>2</sup>이었다. 폴리머 코팅 층 두께는 감광성을 고려하여 9 μm로 하였다.

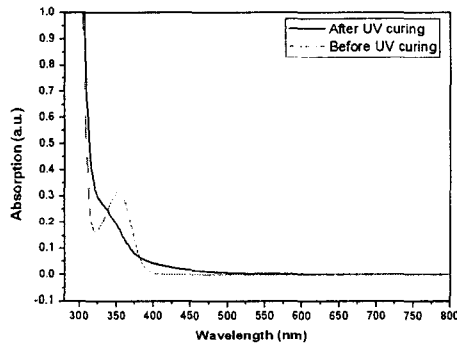


Fig. 3 Absorption spectrum of ZPLW207

도파로 제작을 위해 공정 변수는 레이저 초점, 레이저 출력, 묘화 속도를 변화하면서 하였다. 레이저 초점 크기와 심도(depth of focus)는 패턴 제작시 선폭을 결정짓는 중요한 인자이다. 일반적으로 많이 쓰이는 가우시안 분포의 빔 초점크기는 식(1)과 같이 Rayleigh 기준으로부터 구할 수 있다. 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 사용한 대물렌즈는 개구수, NA, 0.13, 빔 초점 거리, f, 11.53 mm이며, 식 (1)과 (2)를 통해 이론적으로 계산한 값은 초점크기 3.3 μm, 초점심도 31.5 μm이다.

Fig. 4는 묘화 속도를 200, 400, 600 mm/min, 레이저 출력 0.5 mW(3.31 mJ/cm<sup>2</sup>)일 때, 레이저 초점에 따른 선폭 변화를 나타낸 것이다. 최소 선폭은 Fig. 4에서 볼

수 있듯이 묘화 속도 600 mm/min일 때 대략 8 μm로 관찰되었다. 대물렌즈를 사용할 경우 레이저 빔의 초점 심도가 짧아지며 정확한 초점위치에서 제작된 패턴은 레이저 조사시 폴리머의 열영향부에 의해 이론적으로 계산값보다 넓은 패턴을 얻었다. Fig. 5(a)~(c)는 제작한 광도파로 코어 부분 패턴의 단면을 전자현미경으로 촬영한 것이다. 레이저 초점 심도를 벗어난 부분에서는 패턴 크기는 현격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(b)는 초점위치에서의 패턴을 전자현미경으로 촬영한 것이며, 단면의 모양은 사각형에 가까운 사다리꼴 형태로 나왔으며 그 크기는 약 8.4 μm, 높이 7.8 μm이다.

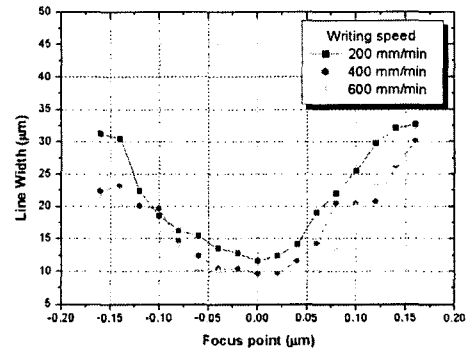


Fig. 4 Curve of line width for focus point and writing speed.

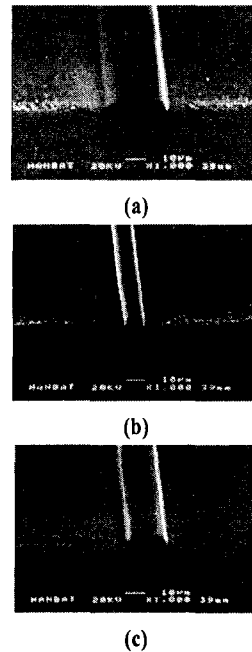


Fig. 5 SEM image of cross section for waveguide (a) Defocus (before), (b) Focus, (c) Defocus(after)

도파 손실 측정을 위해 먼저 형성된 도파로 코어 부분 미세패턴 위에 상부 클래드 층을 입힌 후 손실 측정을 하였다. 광도파로의 손실 측정은 지점에서의 광량을 측정이 가능한 cut-back method을 이용하였다. 첫번째 절단면에서 광량을 측정하고, 광도파로 길이를 짧게 절단하여 측정하는 방법으로 추가로 절단한 광 출력면에서의 광량을 측정한다. 도파손실은 식(3)과 같이 얻어진다.

$$\alpha = 10 \times \log(P_1 / P_2) / (L_1 - L_2) \text{ [dB/cm]} \quad (3)$$

여기서,  $L_1$ ,  $L_2$  그리고  $P_1$ ,  $P_2$  는 각각 절단하기 전 후의 시편 길이 및 광량을 의미한다. 여기서  $\log P-L$  그래프의 기울기로부터 구해진다. 장거리 통신 파장대인 1,500 nm의 레이저 광원을 이용하여 측정하였다. 도파손실과 삽입손실은 각각 Fig. 6의 삽입손실 그래프의 기울기와 y-절편으로부터 구해진다. 시편1부터 시편3까지는 모두 같은 단면형상을 가진 서로 다른 직선 광도파로 시편이다. 구해진 도파 손실은 Table 2에 명시한 바와 같이 3 dB/cm, 삽입손실은 1 dB/cm, 이었다.

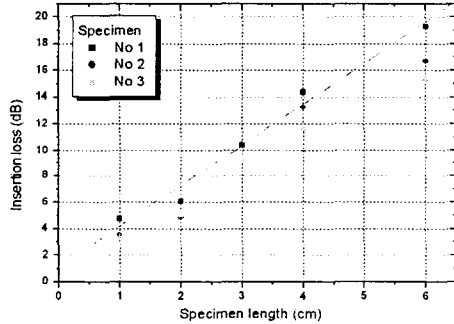


Fig. 6 Measurement of straight waveguide

Table 2 Measurement of propagation and coupling loss

Loss	Value
Propagation loss	3 dB/cm
Coupling loss	1 dB/cm

#### 4. 결론

본 논문은 UV 레이저를 이용하여 광도파로 코어 부분 패턴을 제작하였다. 사용한 재료는 장거리 파장 통신 영역인 1,550 nm에서 손실이 적게 설계한 광경화성 불소계 아크릴레이트 폴리머를 이용하였다. 광도파로의 빛이 통과하는 코어 제작을 위해 DPSS 레이저 시스템( $\lambda_3 = 355$  nm)으로 최적공정을 얻기 위해 기초 실험을 수행하였다. 최적 공정 조건을 얻기 위하여 여러 가지 공정조건 패턴

의 선택은 레이저 초점 위치에 따라 변화가 심했다. 이론적으로 계산한 레이저 초점 크기는  $3.3 \mu\text{m}$  이었으나, 그 결과 단면이 사다리꼴 형상이었으며, 그 크기는 선폭  $8.4 \mu\text{m}$ , 높이  $7.8 \mu\text{m}$ 이었다. 도파손실 측정시편에서 얻은 시험 결과로부터 장거리 통신 파장대 영역이 1,550 nm에서 평균 도파손실은 3 dB/cm, 평균 결합손실은 1 dB/cm임을 알 수 있었다. 레이저 직접 묘화 기법을 이용한 광도파로 패턴 제작은 대면적의 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.

#### 참 고 문 헌

- (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) 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
- (3) 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
- (4) 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
- (5) 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
- (6) [www.zenphotonics.com](http://www.zenphotonics.com)