

# 광 도파로용 광경화 폴리머의 레이저 직접묘화

## Laser direct writing of photopolymer for waveguide

한국기계연구원 김정오 서정 이제훈 신보성

### 1. 서론

고분자 재료(폴리머)는 20세기 중반부터 그 사용량이 급격히 늘어나고 또한 사용범위도 매우 광범위해진 중요한 재료이다. 석유화학공업의 발달과 더불어 초기의 고분자공업은 범용수지의 생산에 주로 의존하였으나 최근에는 용도가 다양해지고 기능화 되면서 소량, 고가의 기능성 고분자재료들이 많이 나타나고 있다.

포토레지스터(photoresist) 코팅층의 미세 패터닝(micro patterning)기술은 Optoelectronics, 기계부품의 미세가공, 전자부품 및 회로 제작, PDP(plasma display panel) 제작 등에 적용되는 중요기술에 속하며, 그라비아(gravure) 인쇄를 제판에도 적용되고 있다.

포토레지스터 재료로 광경화성(감광성) 폴리머를 사용하는 경우, 폴리머가 코팅된 재료에 패턴 필름을 통해 자외선 영역의 빛(예: 수은등)으로 노광하여 패터닝하는 방식을 사용하고 있다. 이 방식에서는 필름의 제작 공정이 필요하며, 대형 필름의 제작에 한계가 있을 뿐만 아니라, 필름을 반복하여 사용할 시의 필름 손상과 필름을 보관하는 데 따르는 문제점이 많으며, 정밀 패터닝이 어려운 실정이다. 이를 극복하기 위해 레이저를 이용한 직접 패터닝 기술이 연구되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 레이저 빔 직접 묘화(Laser Beam Direct Writing) 공정 개발을 위하여 수행되었으며, UV경화성 폴리머 재료와 UV 레이저(Ar-ion)를 이용하여 광 도파로를 제작을 위한 기초실험에 관한 것이다

### 2. 레이저 패터닝 원리

감광성 폴리머의 레이저 광경화에 의한 패터닝 원리는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 대상 재료 표면에 UV(ultraviolet) 광경화성 폴리머인 포토레지스터를 코팅한 후 건조시킨다. 포토레지스터가 코팅된 롤 표면에 UV 광원의 레이저 빔을 선별적으로 조사한 후 현상액으로 현상하면 빔이 조사되어 광경화가 일어난 부분은 재료 표면에 남게 된다. 레이저 빔이 조사된 부분은 이른바 Photo crosslinking(광가교) 또는 Photo-polymerization(광중합)을 일으켜 상호 결합하게 된다. 이러한 광 화학(photochemical) 과정에서는 빔의 intensity, 광자의 에너지, 감광부 체적(형상)과 빔의 시간에 따른 변화(연속파 또는 펄스)등이 중요하게 된다.

Decker는 microlithography 응용에 쓰이는 light-induced crosslinking polymerization of photosensitive resins에 관한 연구를 수행하였다. 광원으로 일반 수은등, 363.8nm의 Ar-ion 레이저 및 373.1nm의 펄스형 N<sub>2</sub> 레이저를 사용할 때의 반응에 대한 연구를 통해 반응속도를 나타내는 Rates of polymerization, 자외선 광자가 중합에 사용되는 효율을 보이는 quantum yield 등의 값을 계산하고, 레이저를 사용하는 경우 수은등에 비해 최소 4배 이상 빠르게 반응이 일어남을 보였다. 또한 감광 시간과 용해되지 않는 polymer의 두께와의

plot을 통해 반응 초기에는 공기중의 산소가 radical-induced polymerization을 방해해 induction period가 있으나, dry nitrogen purge 환경에서는 없어짐을 알 수 있었다.

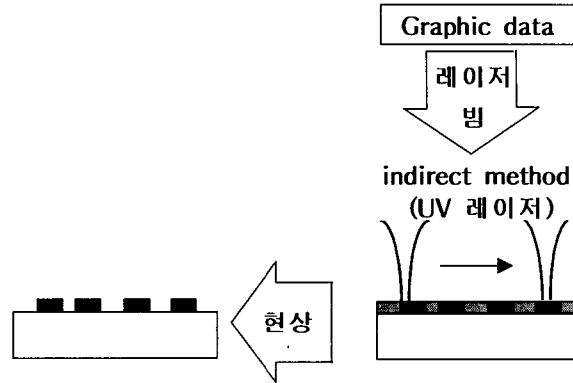


Fig. 1 The principle of laser direct patterning

### 3. 실험방법

본 연구에서 사용된 폴리머는 (주)젠포토닉스에서 개발한 광경화 폴리머인 ZPU12-460 (phot-active UV curable fluorinated resin based on acrylate)을 사용하였다. 이 폴리머의 특성은 Table 1와 같다. 폴리머의 광 경화를 위해 사용한 레이저 및 실험 장치는 Fig. 2와 같으며, Ar-ion 레이저는 Coherent사의 Innova 328이며, 최대출력 1W, 빔 직경은 빔 허리 (beam waist)에서 약 1.5 mm, 총 발산각은 0.5 mrad 그리고 파장은 멀티라인(multi-line)으로 333.6~363.8nm에 이른다. objective lenz는 초점거리 20 mm 로 초점 size는 2  $\mu$ m 이다.

Table 1 Performance specification

| Standard item  |   | ZPU12-460  |
|----------------|---|--|
| Liquid         | Viscosity (cps @25°C)                             | 200~300  |
|                | Filtration  | 0.1~0.2 $\mu$ m absolute PTEE filter               |
|                | UV-exposure                                       | >2500mJ/cm <sup>2</sup> (160°C/30min, post baking) |
| Film           | Propagation Loss                                  | 0.4 dB/cm @1.55 $\mu$ m wavelength                 |
|                | PDL   | 0.02 dB/cm @1.55 $\mu$ m wavelength                |
|                | Refractive Index @1.55 $\mu$ m                    | 1.4600   |
|                | Birefringence                                     | 0.001±0.0003                                       |
|                | Glass Transition Temp. (Tg)                       | Not detectable                                     |
|                | Degradation Temp. (1%)                            | 300±20°C   |
|                | CTE (ppm/°C, by TMA)                              | 200~300  |
| Film thickness | <25 $\mu$ m per coating (multi-coating available) |  |



Fig. 2 Modified laser pattering system (plate)

#### 4. 결과 및 고찰

Table 2, 3은 레이저 출력 및 빔 이송속도에 따른 광경화 선폭, 높이 변화를 각각 focus position 별로 나타내었다. 나타내었다.

Table 2 레이저 출력 및 빔 이송속도에 따른 광경화 선폭, 높이 변화  
(focus position 0 ) 단위 ( $\mu\text{m}$ )

| 레이저빔<br>이송속도 | Laser power |        |       |        |       |        |       |        |
|--------------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|              | 10mW        |        | 30mW  |        | 50mW  |        | 70mW  |        |
|              | width       | height | width | height | width | height | width | height |
| 2 m/min      | 3.86        | 4.64   | 6.71  | 3.34   | 8.43  | 2.90   | 9.57  | 2.61   |
| 3 m/min      | 2.86        | 3.63   | 5.71  | 4.06   | 7.00  | 2.90   | 8.43  | 2.61   |
| 4 m/min      | 2.57        | 2.90   | 5.57  | 3.77   | 5.86  | 3.05   | 7.86  | 2.90   |

Table 3 레이저 출력 및 빔 이송속도에 따른 광경화 선폭, 높이 변화  
(focus position 100 $\mu\text{m}$ ) 단위 ( $\mu\text{m}$ )

| 레이저빔<br>이송속도 | Laser power |        |       |        |       |        |       |        |
|--------------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|              | 10mW        |        | 30mW  |        | 50mW  |        | 70mW  |        |
|              | width       | height | width | height | width | height | width | height |
| 2 m/min      | 8.29        | 3.19   | 12.86 | 3.63   | 14.57 | 3.34   | 15.29 | 3.34   |
| 3 m/min      | 5.71        | 2.76   | 11.14 | 3.48   | 12.71 | 3.34   | 14.29 | 3.48   |
| 4 m/min      | 4.86        | 2.32   | 9.71  | 3.48   | 11.14 | 3.48   | 12.86 | 3.34   |

Fig. 3은 Laser power 및 레이저 이송속도 변화에 따른 Aspect ratio (height/width) 변화를 나타낸 것이다. Aspect ratio의 변화는 레이저 빔 이송속도에 크게 변화하지 않았고 Laser power변화에 대해 10 mW에서 급격히 감소하였으며, 이후 Power 에서는 선형적으로 감소함을 알 수 있다.

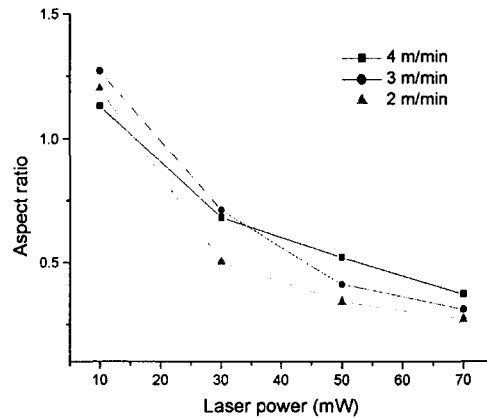


Fig. 3 Laser power 및 레이저빔 이송속도 변화에 따른 Aspect ratio 변화

Fig. 4는 Laser 10 mW의 출력으로 렌즈 초점에서 빔 이동속도 2000 - 4000 mm/min 변화시킨 광 경화선 들의 단면형상을 SEM으로 확대 촬영한 것이다. 시편의 단면을 잘 관찰하기 위하여 경화선의 수직방향으로 Excimer Laser를 이용하여 abrasion 시킨 후 경사지도록 기울이면서 관찰한 것이다. 광경화선 폭은 약  $2.7\mu\text{m}$  이고 광 경화 두께는 약  $3.5\mu\text{m}$ 로 나타났다. 광 경화성의 형태는 빔의 형상인 Gaussian 빔 형태를 보여주고 있다.

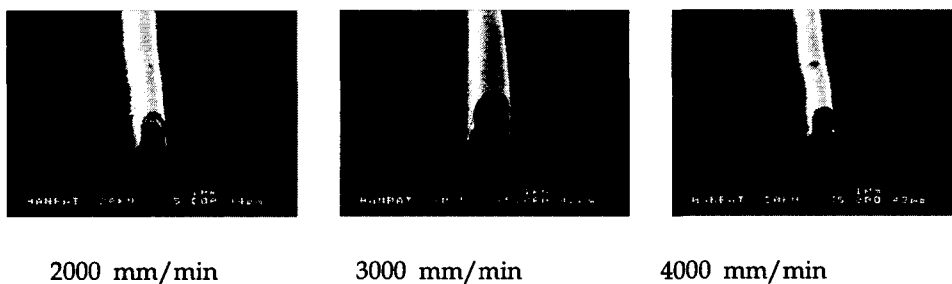


Fig. 4 SEM photographs of laser hardened lines under laser beam power 10mW, and various laser beam moving velocities.