

# Laser Direct Writing 방법을 이용한 광도파로 제작

강희신\* · 서 정\* · 이제훈\* · 김정오\*

\*한국기계연구원 레이저응용시스템그룹

## Fabrication of waveguide using UV Ar-ion laser direct writing

H. S. Kang\*, J. Suh\*, J. H. Lee\* and J. O. Kim\*

\*Laser Application Group, Korea Institute of Machinery & Materials

### Abstract

The laser direct writing method using a UV Argon-ion laser is studied for fabrication of waveguide. The laser direct writing system is constructed with a vision camera, a xy-stage, a motion controller and the delivery components of a laser beam. The UV Argon-ion laser has wavelength range of 333.6~363.8 nm. A photo-active UV curable polymer for a planar light-wave circuit(PLC) of single mode is used. This polymer is irradiated by Argon-ion laser and developed by a solvent after a post-baking. The optimum laser direct writing condition is obtained experimentally by changing various process parameters such as laser power, writing speed and focal length. The propagation and coupling loss of a optical waveguide was measured as 1dB/cm and 0.6dB/cm, respectively. Also, the minimum width of waveguide of 10 $\mu$ m(ZPLW-207) is obtained. Finally, the waveguides of line, bend and branch type are successfully fabricated.

**Key words** : laser direct writing, optical waveguide, polymer, UV curable, single mode, branch

## 1. 서 론

폴리머는 20세기 중반부터 그 사용량이 급격히 늘어나고 있고 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 코팅층에 형상을 만드는 미세 패터닝(micro patterning)기술은 광전자, 기계부품의 미세가공, 전자부품 및 회로 제작, PDP(plasma display panel) 제작 등<sup>1-3)</sup>에 적용되는 중요기술에 속하며, 그라비아(gravure) 인쇄를 제판에도 적용되고 있다<sup>4-5)</sup>. 포토레지스터 재료로 광경화성 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 보관하는데 따르는 문제점이 많으며, 정밀 패터닝이 어려운 실정이다. 이를 극복하기 위해 레이저를 이용한 직접 패터닝 기술이 연구되어 왔다.

본 연구의 목표는 레이저 빔 직접 묘화(laser beam direct writing) 공정을 위한 광경화성 폴리머의 레이저 미세 패터닝 기술 개발이다. XY stage 방식의 Ar-ion laser 광경화 실험장치를 구성하고, 관련 s/w를 개발하였다. 개발된 실험장치를 이용해 광도파로용 폴리머의 레이저 광경화 실험을 수행하였다.

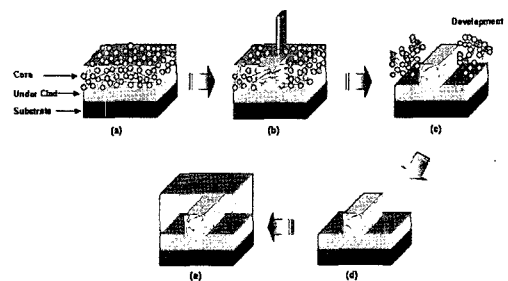
## 2. 실험방법

감광성 폴리머의 레이저 광경화에 의한

패터닝 원리는 대상 재료 표면에 UV 광경화성 폴리머인 포토레지스터를 코팅한 후 건조시킨다. 포토레지스터가 코팅된 표면에 UV 광원인 레이저 빔을 선별적으로 조사한 후 현상액으로 현상하면 빔이 조사되어 광경화가 일어난 부분은 재료표면에 남게 된다. 레이저 빔이 조사된 부분은 광교교(photo cross-linking) 또는 광중합(photo polymerization)을 일으켜 상호 결합하게 된다. 이러한 광화학(photo chemical) 과정에서는 빔의 강도(intensity), 광자의 에너지, 감광부 체적(형상)과 빔의 시간에 따른 변화(연속파 또는 펄스) 등이 중요한 인자가 된다.

Fig. 1은 레이저 직접 묘화 공정을 보여 준다. Fig. 1 (a)는 실리콘 웨이퍼 위에 언더클래드층과 그 위에 광도파로가 생성되는 코어(core) 층이 도포되어 있는 상태이다. (b)는 UV에 노광된 코어 부분이 광중합 반응을 한 상태를 보여 주고 (c)의 단계는 현상액으로 반응하지 않은 폴리머층을 제거하며 (d) 단계에서는 광도파로가 되는 코어만 남게 된다. 다시 폴리머층을 덮어서 최종 (e)와 같은 광도파로를 제작하게 된다.

본 연구의 미세한 광도파로 제작을 위해서는 정밀한 xy 스테이지가 필요하다. 따라서, xy 스테이지 구동방식의 정밀 패터닝 장치를 구축 하였다. 레이저 직접 묘화장치



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

Fig. 1 Polymerization method using UV laser

Table 1 Specification of LDW System

|                   |   |
|-------------------|---|
| Laser             | 1W Ar-ion laser<br>(Coherent Innova 328)        |
| Lens              | f=20mm objective lens<br>( $d_{min} = 2\mu m$ ) |
| Max. moving Speed | 3m/s  |
| Resolution        | 1 $\mu m$                                       |
| Accuracy          | 4 $\mu m$                                       |
| Stroke(x, y, z)   | (300 × 300 × 50)mm                              |
| Drive type        | CNC type(Pulse type)                            |
| Motor             | Linear motor                                    |

(LDW system)를 구성하기 위해 Ar-ion 레이저와 3축 정밀 스테이지를 Table 1과 같이 구성하였다.

본 연구에서 폴리머의 광경화를 위해 사용된 Ar-ion 레이저는 Coherent사의 Innova 328이며, 최대출력 1W, 빔 직경은 빔 허리 (beam waist)에서 약 1.5mm, 총 발산각은 0.5mrad 그리고 파장은 멀티라인(multi-line)으로 333.6~363.8nm에 이른다. 레이저의 파장대 중 351.1nm와 363.8nm의 파장이 가장 강하다. Ar-ion 레이저의 공진기 내부에 있는 aperture no.를 변화시키면 0, 12, 11...3, 2, 1 순으로 빔 직경이 작아지면서 출력도 감소하게 된다. No. 0이면 60A의 전류가 인가될 시 최대 1W의 출력을 얻을 수 있다. 또한, aperture no.에 따라 빔 모드가 변화한다. 레이저 빔 제어는 A/O 모듈레이터(modulator)로 제어된다.

빔을 집속하여 재료표면에서 가능한 작은 초점의 크기를 얻기 위해서는 초점거리가 짧은 렌즈를 사용하며 또한 집속 렌즈에 입사되는 빔의 지름을 크게 하여야 한다. 렌즈의 초점거리는 작업공간이 필요함으로 이에 따른 제한을 받게 된다. 초점의 크기를 작게 하기 위한 방법으로는 렌즈에 입사되는 빔의 지름을 최대한 확대시키는 방법이 있으나, 입사되는 레이저 빔의 지름을 확대시키는 방법에도 빛의 회절현상 때문에 제한을 받는다. 따라서, 작업공간을 고려하여 f=20mm인 microscope focusing objective

lens(NA:0.25)를 활용하였다.

Fig. 2는 레이저 직접묘화장치(LDW)의 전체공정을 나타내는 개략도이다. 폴리머가 도포된 웨이퍼(wafer)에 패턴을 형성하기 위해 CAD/CAM 소프트웨어와 스테이지 구동 소프트웨어를 개발하여 실험에 사용하였다. CAD/CAM 소프트웨어에 의해 생성된 패턴 데이터가 스테이지 구동 소프트웨어를 통해 구동 신호로 변환되고 모션보드(motion board)를 통해 xy 스테이지로 전송된 데이터에 따라 xy 스테이지가 구동된다.

Fig. 3은 레이저 빔 전송을 위한 광학계와 스테이지가 구성된 시스템의 개략도와 장치사진이다. Ar-ion 레이저를 활용하였으며, 레이저 빔이 발진된 후 A/O 모듈레이터에 의해 빔이 단속이 되며 미러(mirror)로 구성된 광학계를 통해 전송된 빔이 오브젝티브(objective) 렌즈에 도달이 된다. 오브젝티브 렌즈에 도달된 빔은 집속이 되어 스테이지 위의 폴리머 표면에 조사된다. 레이저 빔 조사위치 및 실험결과 관찰을 위해 관측장치를 레이저 빔과 동축 상에 구성하였다.

본 연구에서 개발한 CAD/CAM 소프트웨어는 일반 상용 소프트웨어인 Autocad에서 만들어진 DXF 파일과 Orcad에서 생성된 Gerber 파일을 읽어 들일 수 있다. 그리고 자체 카드 기능을 이용해 원하는 패턴을 생성하는 그래픽 데이터를 만들 수 있다. CAD/CAM 소프트웨어에서 생성된 패턴 데

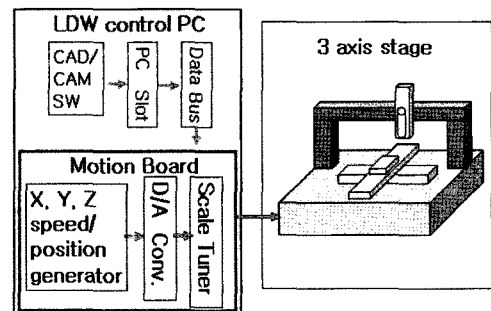
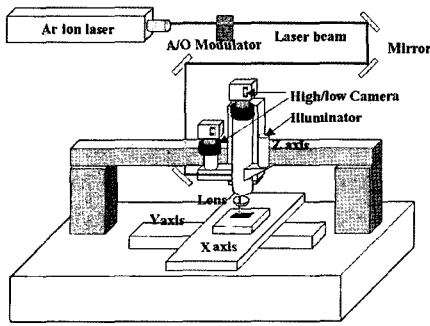
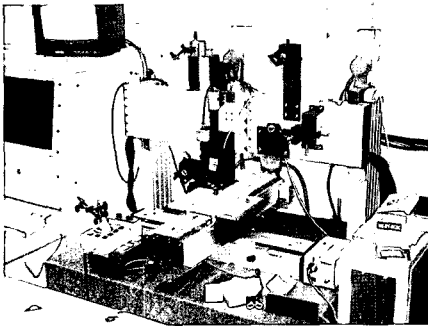


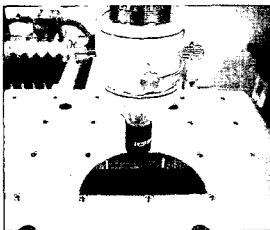
Fig. 2 Schematic diagram of process in laser direct writing system



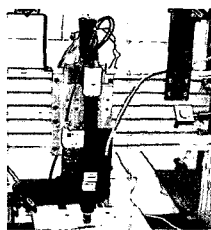
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3 Schematic diagram for beam delivery and photo of system

이터는 NC 코드로 변환되며, 스테이지 구동 소프트웨어에서 NC 코드를 입력 받아 리니어 모터를 구동한다. 개발한 스테이지 구동 프로그램은 CNC 구동방식으로 리니어 모터에 펄스신호를 내보낸다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 직선 도파로 실험

앞에서 설명한 실험장치를 이용하여 광도

파로용 폴리머의 UV 레이저 광경화 실험을 수행하였다. 대용량의 광통신 및 정보기록과 정보처리의 초고속화 구현에 필요한 광소자 및 부품들은 반도체재료와 무기 실리콘 계열의 재료를 근간으로 발전되어 왔으나 이러한 광소자 및 부품들은 생산가격이 너무 높으며, 제작공정이 고온에서 이루어지며, 제작과정이 복잡하여 대량생산이 요구되는 상용화에는 부적합하다. 이에 비해 유기고분자 소재는 분자화학에 의해서 물질의 성능을 쉽게 제어할 수 있으며, 가격이 저렴하고, 응답속도가 빠르고, 광대역폭이 높으며, 소자 제작공정이 저온에서 매우 단순하고, 가공성이 좋고, 집적화가 매우 유리하다.

본 연구에서는 (주)젠포토닉스에서 개발한 광경화 폴리머인 ZPLW-207을 사용하였다. 광경화 실험을 위한 시편은 웨이퍼상에 ZPLW-207 폴리머를 코팅한 상태에서 제공받았으며, 개발한 실험장치에서 폴리머의 광경화 실험을 수행하였다. 실험 방법은 2단계로 구분하여 수행하였다. 1단계에서는 적절한 광경화 조건을 확보하기 위해 레이저 파워, 작업속도, 초점거리에 따른 도파로용 폴리머의 광경화성을 분석하고, 2단계에서는 선폭 10 $\mu$ m 이하의 경화선폭을 얻기 위한 실험을 수행하였다.

실험조건은 Table 2와 같이 설정했다. ZPLW-207 폴리머에 대한 실험에서 레이저 출력력을 1mW, 2mW, 3mW, 4mW로 가변하

Table 2 The conditions of experiments

| Power<br>Speed | 1mW | 2mW | 3mW | 4mW |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| 0.2 m/min      | 58  | 95  | 138 | 188 |
| 0.4 m/min      | 41  | 63  | 88  | 125 |
| 0.6 m/min      | 36  | 50  | 73  | 95  |
| 0.8 m/min      | 29  | 45  | 66  | 78  |
| 1 m/min        | 26  | 40  | 56  | 73  |
| 2 m/min        | 21  | 28  | 35  | 55  |
| 3 m/min        | 16  | 23  | 28  | 33  |
| 4 m/min        | 13  | 20  | 23  | 24  |

고, 스테이지의 이송속도를 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000mm/min로 변화시키며 실험을 수행했다. 본 실험에서 사용한 ZPLW-207은 기존 실험에서 사용한 ZPU12-460과 조성은 거의 차이가 없으나 광흡수성이 더 향상된 재료로서 같은 광조건으로 ZPLW-207에 광을 조사하게 되면 더 많은 광경화가 일어나게 된다. 각 조건별로 광도파로의 선폭을 측정했으며 측정방법은 광학현미경을 통해 스케일자(10 $\mu$ m)와 상호 비교를 통해 선폭을 결정했다. 다소 시각적인 측정오차가 있을 수 있으나, 1mW, 4000mm/min 조건에서 가장 좁은 선폭(10 $\mu$ m)을 얻을 수 있었다. Fig. 3은 각 조건에 대한 경향을 그래프화한 것이며, 레이저 빔 조사속도가 증가할수록 광경화 선폭은 지수함수 형태로 급격히 줄어들며, 같은 작업속도에서 레이저 빔 출력이 작아질수록 광경화 선폭이 줄어드는 경향을 보였다.

광학현미경을 이용 광경화 선폭을 관찰한 결과 전체적으로 광경화선의 모서리가 선명하고 일직선을 보였다. 광학현미경을 통해 Table 2의 각 조건별로 광경화선을 관찰한 결과 레이저 빔 출력이 3mW이고 이송속도가 800, 1000mm/min일 때와 빔 출력 4mW, 이송속도 3000mm/min의 세 경우에서 광경화선의 모서리가 불균일하게 경화가 되었다. 이러한 결과는 폴리머의 상태와 웨이퍼와 폴리머 간 접착력의 영향에서 비롯된 것으로 판단되어진다.

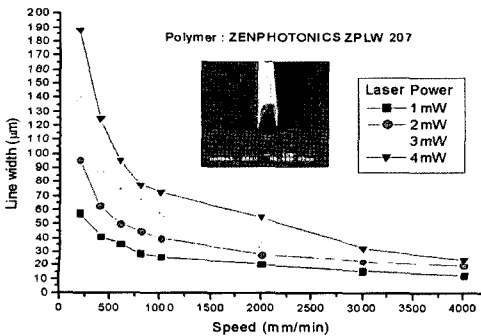


Fig. 3 Graph of line width in experiments

### 3.2 광손실 측정 실험

여러 실험을 통해 적정 실험조건을 찾아 광손실을 측정할 수 있는 광도파로를 제작하였다. Fig. 4는 상부 클래드를 도포하여 완성된 광도파로의 단면을 광학현미경을 통해 촬영한 것이다. 아래층부터 웨이퍼, 하부 클래드층, 코어, 상부 클래드층을 관찰할 수 있다.

Table 3은 광도파로를 제작한 실험조건이다. 여러 실험을 통해 최종적으로 선택한 실험 조건이며, 광손실 측정을 하기 위해 사용될 광도파로 시편을 제작하는데 적용한 실험조건이다.

광도파로의 삽입손실은 식 (1)과 같이 두 개의 출력 값 즉 빛의 강도의 비에 로그를 취해 결정된다.

$$IL = -10 \log \frac{P_{OUT}}{P_{REF}} [dB] \quad (1)$$

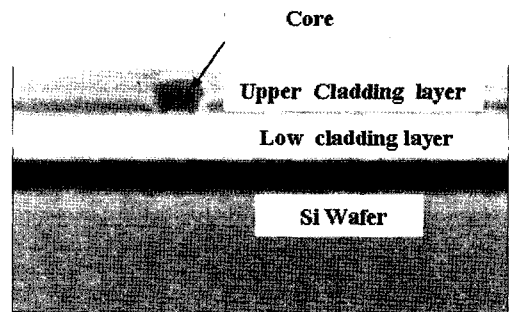


Fig. 4 The shape of waveguide

Table 3 The experimental conditions of waveguide (moving speed : 3m/min)

|    | Focus Point ( $\mu$ m) | Laser Power (mW) |
|----|------------------------|------------------|
| G1 | 0                      | 5                |
| G2 | 50                     | 5                |
| G3 | 0                      | 10               |
| G4 | 50                     | 10               |
| G5 | 0                      | 15               |
| G6 | 50                     | 15               |

명확한 삽입손실 값을 측정하기 위해 cut-back method를 이용했다. 이 방법은 단위 길이 당 출력 값을 측정하고 난 뒤 그래프를 그려서 선형화하여 직선 방정식을 구할 수 있다. 이 직선 방정식의 기울기는 광도파로의 propagation loss이며, y 절편은 광도파로 입력단에서의 삽입에 의한 손실인 coupling Loss이다.

Table 4는 제작된 광도파로의 cut-back method에 의해 광도파로 길이의 변화에 따라 측정된 데이터들이다. 여기서 PDL은 단면의 횡방향과 종방향의 polarization dependent loss를 의미한다. 이 결과 들로부터 계산된 propagation loss와 coupling loss를 Table 5에 정리하였다. Fig. 5는 Table 5의 cut-back 데이터를 그래프화한 것이다.

광도파로의 손실을 측정한 결과 중에서 레이저 출력이 15mW, 작업속도를 3000mm/min로 한 경우(G5)에서 propagation loss 가 1.07dB/cm 이고 coupling loss가 ~0.62dB/cm로 가장 좋은 값을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 사

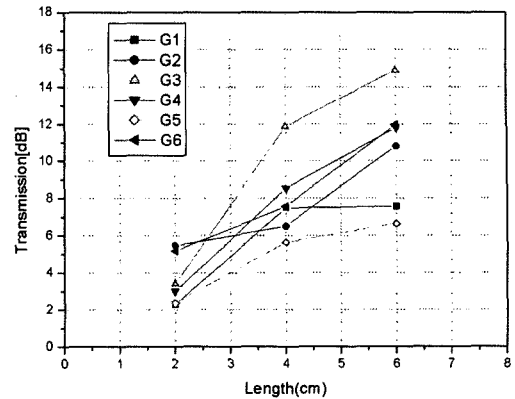


Fig. 5 Graph of cut-back data for straight waveguide

용한 폴리머의 가장 이상적인 propagation loss 값은 0.4 dB/cm이며, 이에 비해 레이저 광경화 방식에 의한 광도파로에서는 좀더 높은 값을 보였다. 광도파로의 단면의 이상적인 형태는 정사각형이지만 실험에서 제작한 광도파로의 단면이 완전한 정사각형의 형태를 이루지 못 해서 이로 인한 외부로 손실이 발생하여 전체 손실이 증가했다.

Table 4 Cut-back data of waveguide

|     | 6 cm      | 4 cm      | 2 cm      |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| W/G | loss (dB) | loss (dB) | loss (dB) |
| G1  | 7.55      | 7.49      | 2.27      |
| G2  | 10.8      | 6.49      | 5.45      |
| G3  | 14.9      | 11.86     | 3.39      |
| G4  | 11.81     | 8.52      | 3.01      |
| G5  | 6.63      | 5.63      | 2.37      |
| G6  | 11.95     | 7.55      | 5.17      |

Table 5 Propagation loss and coupling loss of waveguide

|                          | G1   | G2   | G3    | G4    | G5   | G6   |
|--------------------------|------|------|-------|-------|------|------|
| Propagation loss (dB/cm) | 1.32 | 1.34 | 2.88  | 2.20  | 1.07 | 1.70 |
| Coupling loss (dB/cm)    | 0.49 | 2.23 | -1.46 | -1.02 | 0.62 | 1.44 |

### 3.3 2차원 도파로 실험

직선 도파로의 제작 실험을 수행한 후 2차원 도파로인 2분기 도파로 제작 실험을 수행하였다. Fig. 6은 웨이퍼 위에 폴리머가 코팅된 상태에서 제작하고자 하는 도파로 형상을 나타낸 것이다. Fig. 7은 Y자 형태

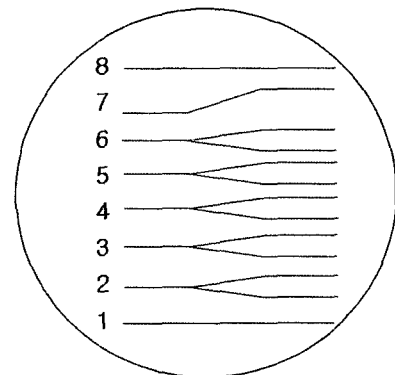


Fig. 6 Pattern on wafer

의 2분기 도파로의 전체 형상 치수를 보여 준다. 광파이버와의 정렬을 위해 각 도파로 간격은  $250\mu\text{m}$ 로 하였고 곡선 구간은 초기 실험인 관계로 최대한 경사를 완만하게 하기 위해서 곡선구간을 길게  $14\text{mm}$ 로 하였다.

2분기를 만들기 위해서는 한 개의 벤드 구간을 먼저 광경화를 한 후 두 번째 벤드를 광경화할 때 직선 구간(Fig. 7 ①)을 두 번 중첩시켜 광경화하거나 분기점부터 광경화를 해야 한다. 중첩되는 직선 구간에서 레이저 빔이 두 번 중첩 조사 되었을 때와 중첩이 되지 않았을 때를 상호 비교하기 위해서 Table 6과 같이 5종류의 2분기 도파로를 제작하였다.

레이저 실험 조건은 파워가  $15\text{mW}$ ,  $30\text{mW}$  이고 가공속도는  $1500\text{mm}/\text{min}$ ,  $3000\text{mm}/\text{min}$  로 변환시켜 실험을 수행했다. 도파로의 종류는 직선(Straight), 곡선(Bend), 2분기(Y-branch:5type)이며 2분기 Y-branch는 직선 중첩구간에서 빔의 조사가 미치는 영향을 확인하기 위해 Y1(Y-branch 1)은 같은 방

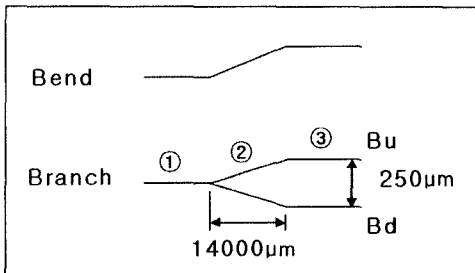


Fig. 7 Shape of waveguide

Table 6 Experimental conditions of Y-branch

|   | 1st Bend   | 2nd Bend   |
|---|------------|------------|
| 1 : Straight                            |            |            |
| 2 : Y-branch 1                          | Bu : ①→②→③ | Bd : ①→②→③ |
| 3 : Y-branch 2<br>(① double speed in ①) | Bu : ①→②→③ | Bd : ①→②→③ |
| 4 : Y-branch 3                          | Bu : ①→②→③ | Bd : ②→③   |
| 5 : Y-branch 4                          | Bu : ①→②→③ | Bd : ③→②   |
| 6 : Y-branch 5                          | Bu : ①→②→③ | Bd : ③→②→① |
| 7 : Bend                                |            |            |
| 8 : Straight                            |            |            |

향, 같은 속도로 중첩을 하였고, Y2는 중첩 구간만 속도를 빨리 하여 빔에 의해 전달되는 경화열을 비중첩 구간과 동일하게 입사 되도록 하였다. Y3, Y4는 1번째 bend를 만들고 2번째 bend를 분기점부터 끝단 까지만 빔이 조사 되게 하여 중첩 구간을 없앴다. Y5는 2번째 bend를 Y1, Y2와 반대로 끝단부터 시작점까지 빔이 조사되도록 실험을 하였다.

Fig. 8은 레이저 직접 묘화 시스템을 이용하여 제작한 광도파로의 실제 사진이다. 폴리머가 도포된 웨이퍼에 빔을 직접 조사해 폴리머를 경화한 후 현상액에 담겨 폴리머를 현상한 후 경화되지 않은 폴리머가 제거된 상태에서 촬영한 사진이며 분기되는 지점을 촬영하였다. Y4의 경우 교차점의 연결이 안 되었으며 반복 실험의 결과도 동일하였다. 이러한 결과는 모터의 백래쉬나 프로그램 상의 신호의 지연으로 인한 오류가 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 9는 직선 도파로의 손실측정 실험결과를 보여 준다. 전체 Loss는 평균  $5\text{dB}$ 이고 PDL (Polarization Dependant Loss)의 경우 평균  $0.4\text{dB}$ 의 결과를 얻었다. 직선 도파로 기초 실험결과와 비교하여 양호한 손실값을 얻을 수 있었다. Fig. 10은 bend 형상의 도파로에 관한 손실측정 결과이다. 직선 도파로와 비교하여 손실값이 큰 차이가 없었다.

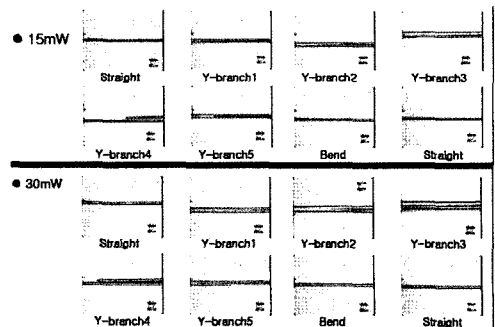


Fig. 8 Photograph of waveguide (laser power 15mW, 30mW)

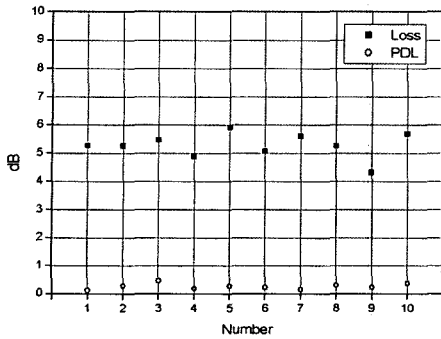


Fig. 9 Result of loss measurement (straight type)  
average loss : 5dB, average PDL : 0.4dB

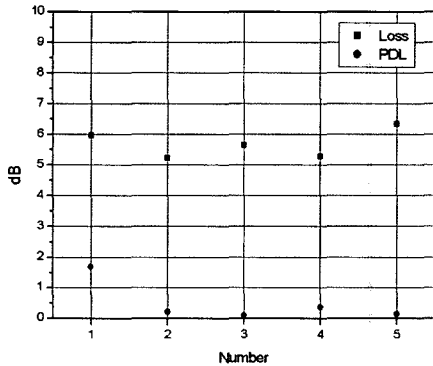


Fig. 10 Result of loss measurement (bend type)  
average loss : 5.6dB, average PDL : 0.5dB

Fig. 11과 Fig. 12는 2분기 Y-branch 형상의 도파로의 손실측정 실험결과이다. Fig. 11은 5종류의 2분기 도파로에 관한 전체 loss 측정결과이다. Y-branch 1의 경우가 전체적으로 균일하면서 최저의 loss 결과값을 보여 주었다. 초기 실험조건을 구상할 때 중첩구간에서 속도 가변을 주어 빔 조사량을 비중첩 구간과 같게 한 Y-branch 2의 경우가 가장 손실이 작을 것이라 예상을 했지만, 손실측정 실험결과는 예상과 달리 빔을 중첩한 Y-branch 1의 경우가 가장 좋은 실험결과를 나타냈다. Fig. 12는 PDL (Polarization dependant Loss)의 측정결과이다. PDL 값도 Y-branch 1이 전체적으로 균일하면서 최저의 loss 값을 얻을 수 있었다.

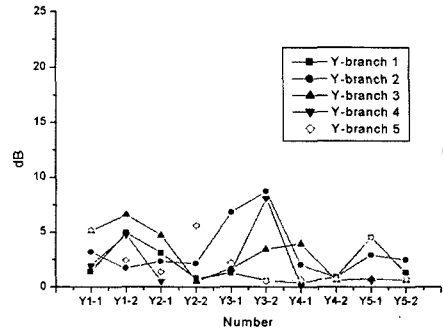


Fig. 11 Result of loss (Y-branch type)

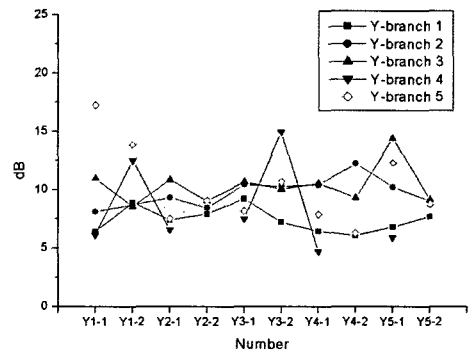


Fig. 12 Result of PDL loss (Y-branch type)

Fig. 13은 광경화 된 웨이퍼상의 도파로의 모드측정 사진이다. 현상 단계를 거쳐 광경화된 도파로만 웨이퍼 상에 남은 상태에서 클래드층을 도포하여 코어가 감싸진 상태에서 한 쪽 끝단에서 빛을 쏘아 반대쪽에서 빛을 수광하여 모드사진을 찍은 것이다. 직선 도파로와 2분기 도파로 둘 다 모드는 싱글 모드(single mode)로 전체적으로 균일한 형상으로 빛이 전송되었다. Fig. 14는 2분기와 8분기 도파로의 현미경 사진이다. Fig. 15는 도파로의 형상을 관찰하기 위해서 SEM 장비를 이용해서 관찰한 2분기와 8분기 도파로의 SEM 사진이다.

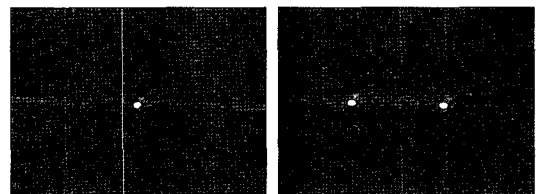


Fig. 13 Mode photo. of waveguide(line, 2 branch)



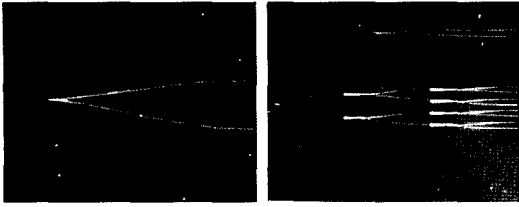


Fig. 14 Microscope photo. of waveguide (2-branch, 8-branch)

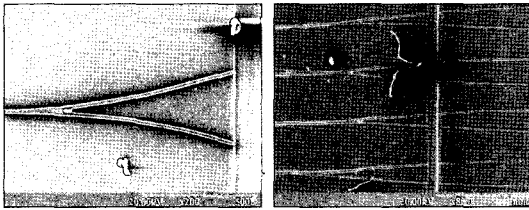


Fig. 15 SEM photo. of waveguide (2-, 8-branch)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 레이저 직접 묘화 장치를 구성하고 광경화 폴리머인 ZPLW-207을 사용하여 레이저 직접 묘화를 이용한 광도파로 제작공정에 관하여 연구를 수행하였다.

- 1) 실험결과로부터 레이저 빔의 초점 근처에서 선폭과 두께가 동시에 가장 적은 값을 가짐을 알 수 있었다. 레이저 출력을 1~4mW와 스테이지의 이송속도를 200~4000mm/min로 변화시키며 실험을 수행하였고, 레이저 파워가 1mW이고 속도 4000mm/min의 조건에서 가장 좁은 10  $\mu$ m의 선폭을 얻을 수 있었다. 실험결과에서 이송속도가 빠를수록 선폭은 급격히 지수형태로 수렴하는 경향을 보였고, 같은 속도에서 레이저 출력이 작을수록 선폭은 좁아짐을 확인했다.
- 2) 본 실험을 통해 제작한 직선 광도파로의 손실을 측정된 결과 중에서 레이저 출력을 15mW, 속도를 3000mm/min로 한 경우에, propagation loss가 1.07 dB/cm이고 coupling loss가  $\sim$ 0.62dB/cm로 가장 좋은 값을 나타냈다.

- 3) 직선 도파로 실험을 통해 얻은 최적 조건을 가지고 2차원 광도파로 패턴(bend, Y-branch)을 제작하는 실험을 수행하였고 광손실 측정실험을 하였다. 직선 도파로의 경우 평균 Loss가 5dB이고 평균 PDL (Polarization Dependant Loss)의 경우 평균 0.4dB의 결과를 얻었다. 직선 도파로 기초 실험결과와 비교하여 양호한 손실값을 얻을 수 있었다. bend 형상의 도파로에 관한 손실측정 결과 직선 도파로와 비교하여 손실값이 큰 차이가 없었다. 2분기 도파로에 관한 전체 loss 측정결과로부터 직선구간을 중첩시킨 Y-branch 1의 경우가 전체적으로 균일하면서 최저의 손실값을 보여 주었다. PDL 값도 Y-branch 1의 경우에 전체적으로 균일하면서 최저의 loss 값을 얻었다. 도파로의 모드측정 사진 결과 직선 도파로와 2분기 도파의 모드는 싱글 모드(single mode)로 전체적으로 균일한 형상으로 빛이 전송되었다. 결론적으로 도파로 형성 시 빔의 중첩은 손실측정 결과에서 보면 광손실에 영향을 미치는 않는 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Schaper C. D., Kailath T., EL-Awady K. and Tay A., "Application of Control and Signal Processing to the Microlithography Process", Proceeding of the 1999 IEEE 25th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 1 No. 1, 1999.
2. Baumann B. and Bargon J., "Conducting polymer pattern via Laser Processing, Applied Surface Science 106, pp. 287-292, 1996.
3. Hirayuki O., "Photoresist for PDP", Electronic

- Parts and Materials, Vol. 37, No. 2, pp. 45-48, 1998.
4. Ahn B. Y., "Printing Engineering", Sejinsa, Korea, 1997.
  5. Xiao H. H., "Laser Technology Application in Gravure Printing", Proc. SPIE Vol. 2118, pp. 209-212, 1994.