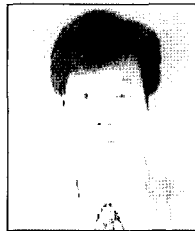


광도파로 패턴 제작을 위한 레이저 묘화 시스템 개발

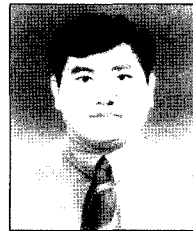
Development of Laser Direct Writing for Fabrication of Optical Waveguide Pattern



이응숙*



최두선**



조성학***



김정민***

*한국기계연구원 지능형정밀기계연구부장
 **한국기계연구원 지능형정밀기계연구부장 나노공정그룹장
 ***한국기계연구원 지능형정밀기계연구부장 나노공정그룹 연구원

1. 서론

광대역 종합정보시스템의 실현과 더불어 대용량 정보 전송을 가능케 하는 광통신 발전이 가시화 되고 있다. 이에 따라 위한 광통신 시스템에서는 각종 전기적 소자를 광전(electro-optic)소자로 대체하고 있으며, 더 나아가 순수하게 빛만을 사용하는 전광학(all-optical)소자로 전환이 요구되고 있다. 그러나 현재 제조되고 있는 광소자 제조 시스템은 웨이퍼 규모의 소형제품 제조에 최적화 되도록 설계 제작된 반도체 공정에 기반을 두고 생산되고 있다. 통신분야에 사용되는 광기능소자는 Bulk형 광부품 및 광섬유형 광부품 기술에서 평판 광소자(PLC)로 요구되고 있으며 향후 집적화되어 광 IC화로 발전하고 있다. Bulk형 부품은 렌즈나 프리즘 등 미세 광학소자를 이용한 기술로 광통신망이 요구하는 고집적화, 저가격화의 요구를 만족시키기 어렵고 광섬유형 기술은 광섬유를 용착, 연신, 도핑(doping)을 통해 광부품의 제기능을 확보하는 기술로 광섬유를 별도로 정렬 및 접속하는 노력을 요구치 않은 장점을 가지나 소형화가 어렵고 광섬유로만 모든 특성을 발휘할 수 없다. 평면 광도파로 회로(PLC)는 평면기판 상에 광도파로를 형성하는 방법으로, 증착, 패터닝, 식각 등의 반도체 공정 장비를 개조하여 광도파로의 구조를 정밀하게 제어함으로써 전달되는 광파의 위상 또는 간섭 등을 효과적으로 이용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 반도체 공

정 시스템을 이용한 광소자 기술은 초고속 장거리 광통신망에 소요되는 소자 제조 용이하나 광컴퓨터 등에 소요되는 광PCB등의 대면적에는 적용이 어렵고 제조가격이 높은 문제점을 갖고 있어 최근에는 레이저로 직접 노광시켜 광도파로를 대면적에 제조하는 기술이 개발되고 있다. 광도파로 제작을 위한 레이저 직접 묘화 시스템 설계 및 제작은 마이크로미터 급의 광도파로를 제조하므로 초정밀한 부품과 제어 시스템으로 이루어져야 한다.^{1)~7)}

따라서, 본 연구에서는 폴리머 재질의 흡수율이 높은 325nm 파장대역을 갖고 저가인 He-Cd 레이저를 선정하였으며 레이저 빔 전달 시스템, 고성능 vision 시스템으로 구성하여 레이저 직접묘화 시스템을 구축하였다. 소프트웨어는 X, Y, Z Stage를 제어, vision 시스템으로 관찰 측정 및 레이저 빔 전달계를 컴퓨터에서 제어 가능하다. 구축된 LWS(Laser Writing System)를 이용하여, 광도파로를 제작하기 위해 고분자 재료 특성을 고려하여 코어를 형성하는 레이저 출력과 거리, 이송속도 등의 레이저 조사 조건설정과 설계된 도파로 형상을 구현하는 공정실험을 통하여 기초실험 및 분기구조의 도파로 제작을 하였다.

2. 연구 내용

2.1 레이저 묘화 시스템 개발

본 연구의 대면적 광소자 제작을 위해 구축된 레이저 묘

화 시스템은 Fig. 1과 같다. 레이저 시스템은 광도파로 제작을 위한 폴리머 소재 흡수율이 적합한 레이저 선정 및 레이저 빔을 on/off를 제어 가능하게 하는 셔터와 빔의 크기를 확대하는 빔확대기(beam expander) 및 레이저의 출력을 감쇄하는 감쇄기(attenuator)등을 포함하는 레이저 빔 전달 시스템, 비전 시스템, xyz 3축 stage와 이를 컴퓨터로 제어하는 소프트웨어로 구성하였다. 이러한 구성은 일반 레이저 가공 시스템과 유사한 구성이나 그 세부 기능은 가공되는 소재의 저손실, 높은 열 광학효과, 초정밀 제어 및 고효율 생산성을 확보하도록 제작하였다.

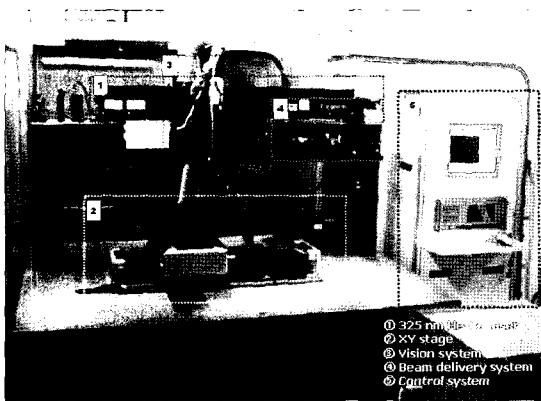


Fig. 1 Photograph of He-Cd LDW

사용된 레이저는 폴리머 재질의 흡수율이 높은 파장대역을 갖고 저가인 He-Cd 레이저를 선정하였으며, 325nm 파장대역에서 출력 에너지가 30mW, 빔 직경이 1.8mm, 빔 발산이 2mrad인 특성을 가진다. 레이저 빔 전달 시스템에는 셔터, 감쇄기, 빔 확대장치, 반사미러 및 편광 장치 등으로 구성되며 컴퓨터로 제어가 가능하도록 하여야 한다. 셔터는 스위칭 시간이 짧을수록 좋으며, 본 시스템에서는 AOM(acoustic optical modulator)를 사용하였다. 레이저의 출력 조절은 감쇄기를 사용하였으며, 이것은 컴퓨터로 제어 가능한 motorized attenuator를 사용하였다. 초점 크기를 미세 조정하는 장치로 빔의 크기를 2~8배까지 자동조정 가능한 빔확대기 또한 컴퓨터로 제어 가능하다. 반사 미러는 UV파장의 레이저 빔이 흡수가 적고 반사율이 99%이상 되도록 전반사 코팅을 325nm 파장에 맞도록 코팅하였다. 레이저 빔 전달 시스템 내에 있는 각종 렌즈 및 미러 장치의 정렬은 순차적으로 정렬하여 사용하기 위해 각 렌즈별로 3축 이상 축 조절하는 장치가 필요하며 실시간으로 공정을 관측하기 위해 구축 위해 비전 시스템을 구축하였다. 이러한 레이저 빔의 및 비전 시스템 설계 및 제작 시 고려되어야 할 사항은 렌즈계에서 초점이

맞는 영역의 정도를 나타내는 심도의 정도를 고려하여야 한다. 심도를 깊게 하면 비전 시스템에서 물체를 좀 더 선명하게 볼 수 있게 국소 부위와 대면적의 관측하기 위해 고배율과 저배율의 렌즈를 사용하였다. Fig. 2는 비전시스템으로 1×8분기구조의 도파로를 관측한 모습이다.

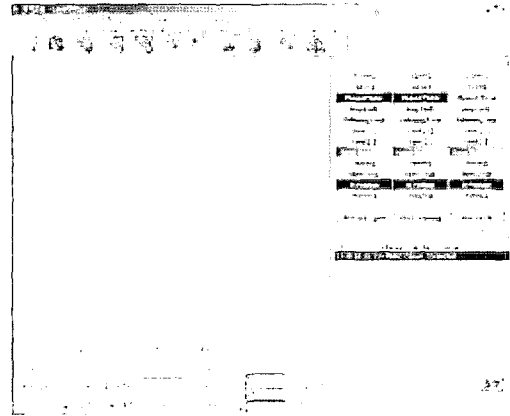


Fig.2 Image of 1xN junction waveguide using vision system

가공부의 스테이지는 초정밀 xy 스테이지를 사용하였으며 주요사항은 Table 1과 같다. 리니어 모터 구동방식이며, 정확도(accuracy)는 2 μ m, 반복정밀도(repeatability)는 0.2 μ m를 가지고 있어 초정밀 부품 가공에 적합하다. 각 스테이지는 PMAC컨트롤러를 통하여 제어된다.

Table 1. The specifications of XY stage

	XY-axis
Travel range	500 × 500 mm ²
Resolution	100nm/count
Repeatability	2 μ m
Position accuracy	0.2 μ m
Maximum speed	250 mm/s

2.2 구동소프트웨어 구성

구동 소프트웨어는 주축이 되는 LWS S/W와 DXF 파일을 PMac 코드로 변환시켜주는 DXF Converter, 그리고 Attenuator를 동작시켜주는 Attenuator S/W로 구성되어 있다.

Fig. 2는 개발된 가공 프로그램이며, PMAC Rotary Buffer와 DPRAM를 사용하여 대용량 데이터 처리가 가능하다. 또한 도파로 및 모든 2.5D형상 데이터, DXF파일 및 G-Code 데이터 가공이 가능하며, 각 부분의 곡률반경, 곡률높이, 속도와 같은 공정조건을 사용자의 임의로 지정

하여 입력이 가능하다.

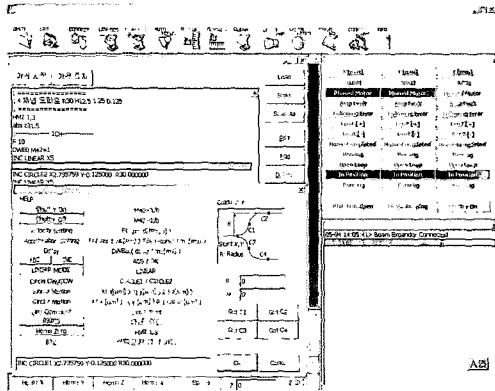


Fig. 2 Software for laser writing process

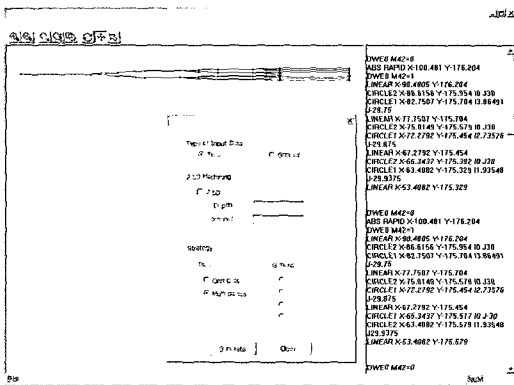


Fig. 3 Software for dxf file converting

Fig. 3의 DXF Converter는 CAD로 모델링한 가공물을 PMAC 코드 생성을 위한 프로그램이다. 이 프로그램은 가공 경로, 가공횟수 및 깊이 방향의 조건을 가공 조건 입력과 가공물의 시뮬레이션이 가능하다.

3. 연구 결과

본 연구에서는 He-Cd LWS(Laser Writing System)을 구축하고 구축된 LWS(Laser Writing System)를 이용하여, 직선 및 분기구조의 도파로 패턴을 제작하였다. 실험에 사용한 폴리머는 광도파로와 박막코팅에 널리 사용되는 UV 경화성 불소계 폴리머인 ZPLW207(Zenphotonic, Co.)⁸⁾이며, 넓은 범위에서 다양한 굴절률 재료로 사용된다. ZPLW207은 Slab waveguide의 광손실은 장거리 파장대인 1550nm에서 약 0.3dB/cm이며, 굴절률은 약 1.47, 유리전이온도는 180°C이었다. 레이저 파장대인 325 nm 영역에서 경화가 잘 일어나게 하기 위해 광개시제(photo-initiator)를 코팅층 성분의 2%첨가하였다.

광도파로를 제작을 위해 공정변수는 레이저 초점, 출력, 묘화속도를 변화하면서 하였다.

레이저 출력 1mW, 묘화 속도 600mm/min 일때, 레이저 초점을 $\pm 200\mu\text{m}$ 씩 움직이면서 얻은 선폭은 Fig. 4와 같이 얻을 수 있었다. 가공 선폭의 증가는 레이저 출력보다 레이저 초점 위치에 따라 선폭의 크기차는 수~수십 μm 이상 차이가 났으며, 이는 공정시 가공 선폭에 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수가 있다. Fig. 5는 레이저 초점일때의 패턴의 광학현미경 사진이며, 선폭은 $41.04\mu\text{m}$ 이었다.

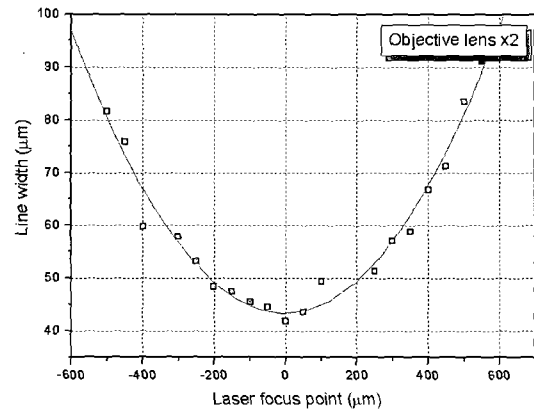


Fig 4. Curve of line width for laser focus point at laser power 1mW, writing speed 600mm/min

분기구조의 도파로의 경우 Y분기 도파로의 분기 영역이 명확하게 형성되지 않으면, 분기부에서 slab mode가 형성되며 양쪽 가지의 출력 광이 균일하지 않다. Y분기 광도파로의 도파 특성을 향상시키기 위해서는 스테이지 이동시 직선과 곡선, 곡선과 곡선으로 연결되는 부분의 가속 구간을 없애 결절을 없애 분기영역을 명확하게 구현하였다. 직선 도파로의 공정결과를 토대로 곡률반경 5,000 μm , 곡률높이 250 μm 인 1×8 분기구조의 도파로 제작을 하



Fig. 5 Photograph of waveguide pattern at laser power 1mW and writing speed 600mm/min

였다. Fig. 6는 1×8분기구조 도파로의 제작시 분기되는 영역부분에서의 스테이지 떨림이 없이 제작됨을 보여준다.

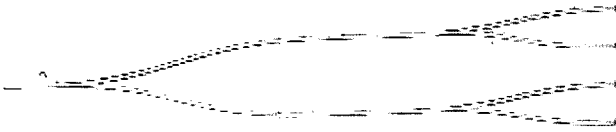


Fig. 6 The shape 1x8 junction waveguide pattern at laser power 400uW and writing speed 10 mm/s

4. 결 론

본 연구에서는 레이저 직접묘화 시스템을 구축하여 직선 및 분기구조의 광도파로를 제작하였다. 레이저 직접묘화 시스템은 폴리머 소재의 흡수율이 높은 325nm파장의 He-Cd레이저를 선정하였으며, 빔 전달 시스템, 비전 시스템과 구동소프트웨어로 구성되어있다.

레이저 출력, 이송속도, 초점 거리 등 공정조건을 변화해가며 실험한 결과 레이저 파워 1mW, 묘화속도가 600 mm/min일 때, 41.04 μ m의 선폭을 가지는 직선 및 1×8 분기구조의 도파로 패턴을 제작하였다. 공정시 선폭 크기를 결정짓는 가장 중요한 변수는 레이저 초점 위치였다.

이러한 레이저 직접묘화 시스템은 포커싱 렌즈의 배율에 따라 수~수십 마이크로의 선폭 조절이 가능하여 원하는 크기의 소자 제작이 가능하다.

또한 기존의 UV노광 공정과는 달리 소자를 간단하게 제작 가능하여 대면적 소자인 광백플레인, 광PCB, 직접회로소자 제작 등에 응용될 수 있다.

후기

본 논문은 산업자원부·정보통신연구부가 지원하고 있는 IMT-2000정부출연금기술개발 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 광소자 제조를 위한 Laser Beam Direct Writing System개발 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,

p.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, p. 2429, 1998
3. 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
4. B. S. Bae, O. H Park, R. Charters, B Luther-Davies, G. R. Atkins, " Direct laser writing of self-developed waveguides in benzyl dimethy ketal-doped sol-gel hybrid glass", *J. Mat. Res.* Vol. 16, No. 11, pp. 3184~3187, 2001
5. 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
6. 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
7. J. M. Kim. B. S. Shin, J. G. Kin, W. S. Chang, "Optical waveguide fabrication using laser direct writing method", *KSPE*, Vol.20, pp.42~47, 2003
8. B. S. Shin, S. B. Yang, W. S. Chang, J. G. Kim, J. M. Kim, "Rapid manufacturing of 3D-shape micro structures by uv laser ablation", *KSPE*, Vol.21, pp.30~36, 2004
9. www.zenphotonics.com 