

티타늄사파이어 레이저를 이용한 미소채널 가공

The Channel Machining Using Ti:Sapphire Laser

한국정보통신대학원대학교 공학부 광네트워크시스템연구실 최병찬, 이만섭
(주)포코 부설연구소 최지훈, 박찬식*

I. 서론

최근 전자, 기계, 의료 등의 분야에서의 기술개발이 급속히 이루어지면서 요구되는 많은 요소부품의 크기들도 점점 소형화되고 있다. 마이크로 요소부품들에 대한 인식이 확대되고 또한 수요가 증가함에 따라서 이들을 제조할 수 있는 새로운 마이크로 가공기술과 장비의 수요도 증가하고 있다. 레이저는 이 중에서도 매우 효율적이며, 재료의 증착을 위해 레이저 빔을 매우 국소적으로 제어하는 공정들이 계속적으로 개발되고 발전되고 있다. 현재 연구 중인 응용분야로는 자기 헤드, 프린터 헤드 등의 정보화 기기 분야, 세포 조작, 진단 및 수술, 인공장기 등의 의료기기분야, 센서, 자율 제어 시스템과 같은 제어계측 기기 분야, 광섬유 통신, 광 스위치, 가변 초점 거울, 마이크로 렌즈 등의 광학 기기 분야, 필터, 노즐, 밸브, 모터 등의 극소형 기계 등을 들 수 있다. 레이저는 이처럼 다양한 분야에 사용되어지고 있는데 그 중 레이저 미세 가공은 레이저 빔을 광학부품을 사용하여 수 마이크로미터에서 수백 마이크로미터 크기로 집속할 수 있다는 특성때문에 수십 마이크로미터 이하의 매우 정밀한 홈, 구멍, 채널 등의 가공이 기기제공에 비하여 상대적으로 용이하다 [1].

그러나 기존의 레이저를 응용한 미세가공은 열적 효과에 따른 대상 물질의 구조 및 광특성 변형을 초래할 수 있는 야그(Nd:YAG) 및 엑시머(excimer) 레이저 등 수 나노초 이상의 비교적 긴 펄스레이저를 이용하여 왔으나 극초단파 레이저 출력 특성의 빠른 신뢰성 향상에 따라 최근 1~2년 사이 이를 직접 응용한 형상가공기술을 확보하고자 하는 연구개발이 활발하게 진행되고 있다 [2].

사용재료에 따라서 레이저 광흡수율 및 투과율에 따른 급격한 가공성 차이로 인해 나노초 레이저를 이용한 광통신용 광도파로소자 등의 미세가공은 광특성의 악화로 활용성이 크지 않다. 한편 시료에 열영향이 적은 극초단파 레이저를 이용하여 양호한 광특성을 유지하면서 마이크로미터 분해능을 갖는 초정밀 미세가공기술의 확보는 향후 관련분야에서 그 중요성이 크다고 하겠다.

따라서 본 연구에서는 광통신용 소자의 채널 가공에 있어서 기존의 레이저와는 다른 특성을 가진 극초단파 레이저를 이용한 레이저 어블레이션 특성을 파악하여 가공 정밀도, 재현성 등을 향상시켜 광소자의 미세가공기술을 확보하고자 하였다.

II. 실험방법

레이저 시스템의 구성은 그림 1에 나타내었으며, 극초단파 Ti:Sapphire 레이저와 X-Y-Z 스테이지, 레이저 빔 전달 시스템, 시각 장치(vision system) 및 제어시스템(control system) 등으로 구성된다. 레이저 빔 전달 광학계(beam expander, attenuator, objective lens 등)는 레이저 발생장치로부터 발생하는 레이저를 가공 대상물까지 보내는 장치로 가공 대상물의 표면에서 최소의 빔직경을 얻을 수 있도록 설계되었으며 빔확대장치(beam expander)의 이용으로 빔직경을 제어가능하도록 설계되어 있다. 시각장치는 가공물의 위치결정을 자동으로 하게 할 수 있도록 하고 가공품질을 제어하기 위한 장치이다. 그리고 가공 목적에 맞게 제작된 각종 고정기구와 편리한 유저 인터페이스들은 작업을 단순하게 함과 동시에 효율을 개선시켜 준다.

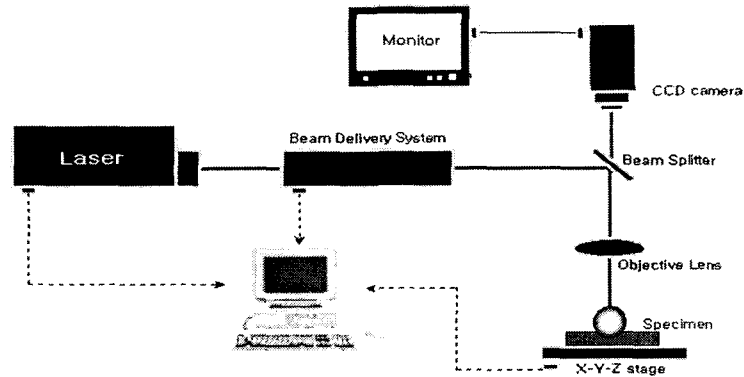


그림 1. 레이저 시스템 구성도

본 연구에 사용된 시편은 화염가수분해 증착법을 이용하여 석영기판위에 광도파로가 형성되어 있는 평면광도파로소자와 hot embossing공정에 요구되는 mold master를 제작하기 위한 Si 및 석영계 기판이다. 그림 2는 레이저로 가공된 U-groove 구조를 가진 평면광도파로 소자에 광섬유를 정렬 및 고정할 수 있는 개략도를 나타낸 것이며, 가공할 U-groove의 크기는 $126\mu\text{m}\times 87\mu\text{m}\times 2\text{mm}$ 이다. 그림 3(a)는 hot embossing 공정으로 다채널 광도파로를 성형할 때 요구되는 실리콘(Si) mold master를 나타낸 것이며, 그림 3(b)는 상기의 몰드 마스터를 이용하여 제작한 mold의 개략도를 나타낸 것이다. 가공하고자 하는 mold master의 광섬유 정렬구조는 $24\mu\text{m}\times 27\mu\text{m}\times 2\text{mm}$ 이고 도파로간의 피치(pitch)는 $127\mu\text{m}$ 이다. 가공방법은 우선 레이저 빔과 동축으로 구성하여 현미경이 부착된 CCD 카메라로 화상을 읽어서 모니터에 형상 및 패턴을 나타낸다. 이러한 형상 및 패턴에 의한 신호에 따라 가공할 위치 및 중심을 결정하고, 이로부터 레이저 빔을 주사하여 원하는 형상을 제작한다. 또한 레이저 가공으로 생성된 작은 입자들은 공기 등으로 불어서 제거할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 구성된 티타늄사파이어 레이저 시스템을 이용하여 실리카(SiO_2) 및 석영(Quartz), 실리콘(Si) 재질의 어블레이션 현상을 파악하고 어블레이션에 영향을 미치는 인자들을 변화시키면서 수 회의 실험을 통하여 얻어진 최적의 가공조건에서 상기의 그림 2와 그림 3의 구조를 제작하였다. 가공결과는 광학현미경(Nikon MM 60)과 전자현미경(SEM, Tapcon SM 300), 3차원 형상측정 시스템을 통하여 분석하였다.

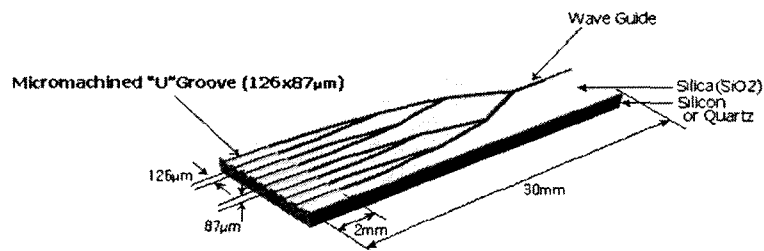


그림 2. 평면광도파로 소자의 광도파로-광섬유 정렬구조

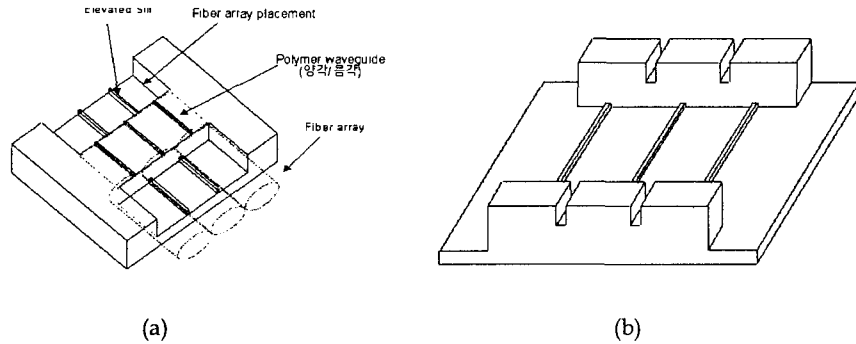


그림 3. Hot embossing에 요구되는 mold master(a) 및 mold(b).

III. 결과 및 고찰

그림 4는 최적 가공 조건에서 가공된 평면광도파로 소자의 입력단과 출력단의 U-groove 형상을 광학현미경으로 측정된 결과이다. 채널별 U-groove의 폭, 깊이, 길이는 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내의 가공정밀도 및 균일성, 가공 치수 재현성을 확보하였다. 3차원 형상측정 시스템으로 U-groove의 형상치수를 측정된 결과, 상부 및 하부의 폭은 각각 $143\mu\text{m}$ 과 $126\mu\text{m}$ 로 측정되었고 깊이는 평균적으로 $87\mu\text{m}$ 가 얻어졌다. 또한 광섬유가 안착될 U-groove의 중심부 바닥면의 거칠기는 $\pm 0.16\mu\text{m}$ 의 거칠기가 얻어졌다(그림 5). 이렇게 정밀하게 가공되어진 평면광도파로를 수동정렬방법을 이용하여 광섬유와 정렬하였을 경우, 1×8 광스플리터에 있어서 8채널 모두에서 11dB이내의 삽입손실 특성과 55dB이상의 반사 손실 특성이 균일하게 얻어졌다. 이는 레이저 빔과 동축으로 패턴 및 형상을 검사하여 광도파로 소자에 U-groove를 형성하기 때문에 오차를 최소화하고, U-groove의 가공 품질 개선, 채널별 가공 치수 재현성 확보 등으로 인한 높은 가공 정밀도 및 높은 정밀 정렬도를 확보할 수 있었다 [3].

그림 6은 hot embossing 공정으로 다채널 광도파로를 성형할 때 요구되는 mold master를 제작한 것이다. 광소자의 채널 집적화로 인하여 동일한 광소자 치수를 유지함과 동시에 채널 수는 기존의 8, 16 채널 보다 높은 40채널 이상이 요구됨에 따라 기존의 250 마이크로 피치(pitch)의 광섬유 어레이 구조는 채널의 집적화를 위해 125 마이크로 피치로 줄어들고 있으며, 동시에 광소자와 광섬유 간 고효율 광학결합과 광소자 제작의 저가격화를 요구하고 있다. 따라서 광섬유 정렬구조의 단순화 및 hot embossing 공정을 통한 정렬구조 구현을 위해 그림 3(a)와 같은 패키지 구조 성형용 mold master가 필요하다. 그림 4의 결과와 마찬가지로 가공폭, 가공깊이, 가공길이 모두 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내의 가공정밀도 및 균일성, 가공 치수 재현성을 얻을 수 있었다.

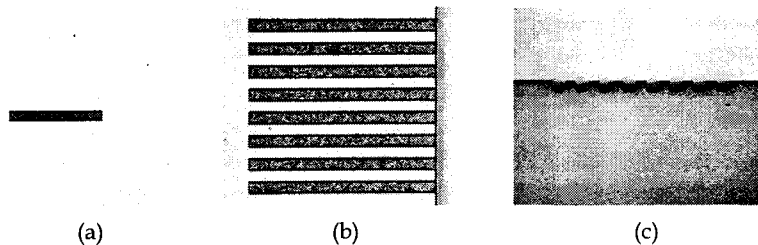


그림 4. 평면광도파로 소자의 입력단(a)과 출력단(b)(c)의 U-groove 가공 결과 (50배율).

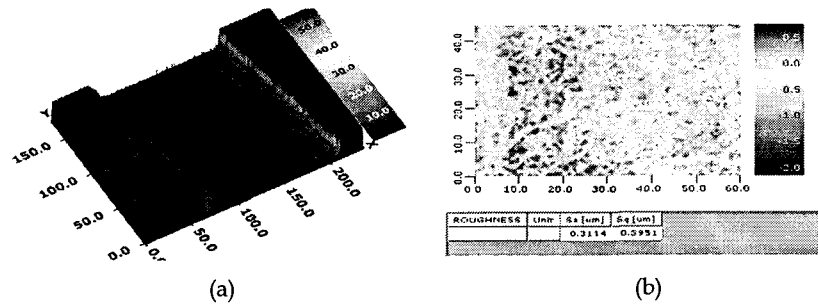


그림 5. 3차원 형상 측정 시스템으로 측정된 U-groove 형상(20배율) 및 바닥면 거칠기.

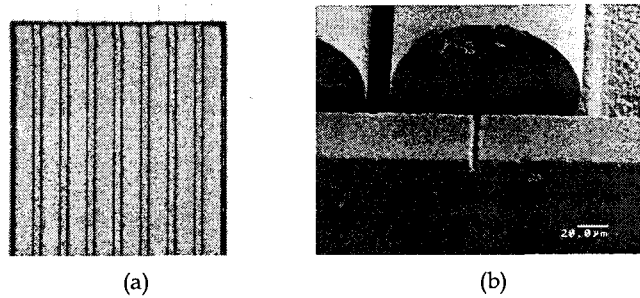


그림 6. 가공된 mold master(a) 및 광섬유가 정렬된 mold master(b).

IV. 결론

극초단파의 티타늄사파이어 레이저를 이용하여 평면광도파로 소자 및 실리콘 기판 상에 미소채널을 가공하였다. 평면 광도파로 소자 내에 광섬유가 안착될 U-groove를 가공한 결과, $\pm 1\mu\text{m}$ 이내의 우수한 가공 정밀도가 얻어졌다. 또한 측면과 바닥의 조도가 향상되어 우수한 광특성을 확보할 수 있다. 그리고 실리콘 기판 상에 hot embossing 공정으로 다채널 광도파로를 성형할 때 요구되는 mold master를 제작한 결과, $\pm 1\mu\text{m}$ 이하의 치수 정밀도 및 정확한 치수 재현성이 얻어져 광섬유를 가공된 채널 내에서 삽입·정렬할 경우 우수한 광특성을 갖는 광집적소자의 제작이 가능하다.

이러한 초단파 레이저를 이용한 마이크로 머시닝 기술은 광통신용 능동소자 및 수동소자, Hybrid 집적 광모듈 등의 광모듈 및 부품 제작에 응용이 가능하고, 미세 홈의 가공 뿐만 아니라 마스크, 잉크젯 노즐 등의 미세 hole 가공 및 MEMS 디바이스 등에도 다양하게 적용이 가능하며 대량생산도 가능한 방법으로 극초단파 레이저를 이용한 다양한 응용분야에 대한 적용성 평가가 필요하다.

V. 참고문헌

1. 윤경구 외 6명 : 레이저 빔 응용 기술, 한국정밀공학회지 제 17권 제 7호, (2000)
2. B.N. Chichkov, et al : Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids, Appl. Phys. A 63, pp. 109-115, (1996)
3. Byoung-Chan Choi, Ji-Hoon Choi, Ho-II Lee, Chan-Sik Park, Man-Seop Lee : The Passive Alignment Technique of Fiber-to-Waveguide, ICEP proceedings(Tokyo, Japan), pp. 122-126, (2003)