

스캐너를 이용한 고속 펨토초 레이저 가공 기술

손익부 · 최성철 · 노영철 · 고도경 · 이종민

광주과학기술원 고등광기술연구소

High-Speed Femtosecond Laser Micromachining with a Scanner

Ik-Bu Sohn, Sung-Chul Choi, Young-Chul Noh, Do-Kyeong Ko and Jongmin Lee
Advanced Photonics Research Institute, GIST

Abstract

We report experimental results on the high-speed micromachining using a femtosecond laser (800 nm, 130 fs, 1kHz) and galvanometer scanner system (Raylase, Germany). Periodic hole drilling of silicon and glass with the scan speed of 1-20 mm/s is demonstrated. Finally, we demonstrate the utility of the femtosecond laser application to ITO patterning by using a high-speed femtosecond laser scanner system.

Key words: Femtosecond laser processing, Micromachining, Galvanometer scanner

1. Introduction

펨토초 레이저를 이용한 레이저 가공에서 가장 큰 특징은 레이저와 재료의 상호반응시 발생하는 열이 전파되는 시간을 갖지 못하기 때문에 재료의 열적손상이나 구조변화를 발생시키지 않는 장점이 있다. 다시 말하면, 재료의 국부적인 부분이 극도의 짧은 시간 내에 제거되어 일반적인 레이저 가공에서 나타나는 열확산 현상은 발생되지 않으며 기존 레이저의 열적(thermal) 가공보다 정밀한 가

공이 가능하다. 또한, 펨토초 레이저는 가공물의 주변에 형성되던 용융물(melt) 및 잔유물(debris)의 발생도 대부분 억제할 수 있고 발생된다 하더라도 매우 미세한 파우더 형태이며 이는 쉽게 세척(cleaning)이 가능하다는 장점이 있어 현재 전 세계적으로 각광을 받고 있다. 하지만 펨토초 레이저를 이용하여 산업체에 응용하기까지는 해결해야 할 문제가 적지 않다.

펨토초 레이저의 장기 안정성(stability), 가공속도 및 가공비용 등이 그것이다. 본

논문에서는 이와 같은 펨토초 레이저의 가공 속도 문제를 극복하기 위한 고속 고정밀 펨토초 가공 기술의 예로써 현재 고등광기술연구소에서 진행하고 있는 연구들을 소개하고자 한다.

2. Experiment and Results

펨토초 레이저를 이용한 레이저 가공에서 가장 큰 특징은 레이저와 재료의 상호반응시 발생하는 열이 전파되는 시간을 갖지 못하기 때문에 재료의 열적손상이나 구조변화를 발생시키지 않는 장점이 있다. 다시 말하면, 재료의 국부적인 부분이 극도의 짧은 시간 내에 제거되어 일반적인 레이저 가공에서 나타나는 열확산 현상은 발생되지 않으며 기존 레이저의 열적 가공보다 정밀한 가공이 가능하다. 또한, 펨토초 레이저는 가공물의 주변에 형성되던 용융물 및 잔유물(Debris)의 발생도 대부분 억제할 수 있고 발생된다 하더라도 매우 미세한 파우더 형태이며 이는 쉽게 세척이 가능하다는 장점이 있어 현재 전 세계적으로 각광을 받고 있다.¹⁻⁵⁾

그림 1은 본 연구소에서 보유하고 있는 펨토초 레이저 가공 시스템 사진이다. 펨토초

레이저의 사양은 파장이 781 nm, 펄스폭이 130 fs, 펄스 반복률이 1kHz, 그리고 최고 펄스 에너지는 0.5 mJ이다. 그리고 정밀 가공에 적합한 스테이지 가공 시스템과 고속 가공에 유리한 스캐너 가공 시스템을 모두 갖추고 있다. 본 연구에서는 스캐너 가공 시스템을 이용하여 고속 펨토초 레이저 가공을 하는데 목적이 있다. 그림 2(a)는 5 mm/s의 스캔 속도로 실리콘 기판에 주기적인 홀 측정 사진이다. 가공된 홀의 직경은 30 μm 이며 홀 하나의 제작 시간은 1초 정도이다. 그림 2(b) 사진은 두께가 1 mm인 유리에 펨토초 레이저와 스캐너 가공 시스템을 이용하여 가공한 직경 0.3, 0.5, 1와 2 mm의 수직 홀 측정 사진이다. 기존의 레이저를 이용한 가공에서 특히 유리 가공은 쉽지가 않은데, 본 연구에서는 펨토초 레이저 스캐너 가공 시스템을 이용하여 5 mm/s의 스캔 속도로 유리의 정밀 홀 가공이 가능함을 보였다. 또한, 유리의 아래 면에서부터 위로 가공(back-side ablation)을 하여 수직한 홀을 제작하였다.

펨토초 레이저를 이용한 정밀 미세 패턴 가공은 최근에 각광받고 있는 LCD와 PDP 같은 디스플레이 분야에 활용이 가능하다. 국내 LCD 업체들이 LCD TV 시대를 앞당기고 타 디스플레이와의 경쟁 우위를 위해 최

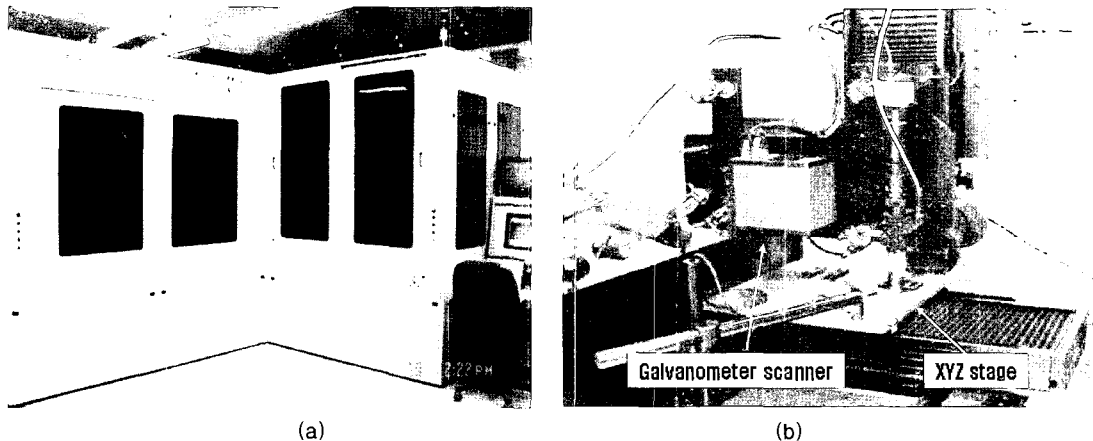


그림 1. 펨토초 레이저 가공 시스템

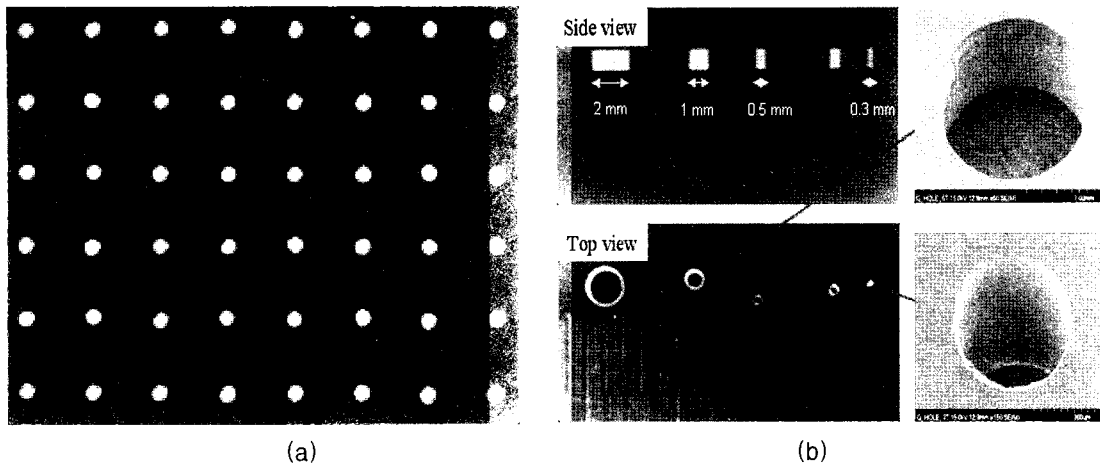


그림 2. 펄초 레이저를 이용하여 가공한 (a) 주기적인 실리콘 홀과 (b) 수직 유리 홀 측정 사진. 실리콘 홀의 직경과 간격은 30 μm 와 200 μm 이며, 유리의 두께는 1 mm 이다.

근 혁신적인 새로운 공정기술 개발에 착수하면서 장비·재료 분야의 일대 혁명적인 변화가 초래될 전망이다. 이르면 3년 이내에 가시화될 LCD 장비·재료 분야의 혁명적인 변화는 새로운 공정 개발로 비용을 최소화하는 것이 핵심이다. 그 중에서 매트릭스 구동 디스플레이에 사용되는 투명전극의 재료인 ITO (Indium-Tin Oxide) 패터닝에 대한 레이저 가공이 최근에 많은 관심을 끌고 있다. 매트릭스 구동방식은 PDP, LCD 등의 얇고 평평한 디스플레이에 사용되며, 기본적으로 다수의 가로 전극과 다수의 세로 전극을 모기장처럼 배치하고 가로 몇 번째 세로 몇 번째 전극에 신호를 주어 그 위치의 셀이 발광하도록 하는 원리인데, 이 전극들이 불투명하면 전극 사이에서 발생하는 빛이 전극에 가려서 외부에서 잘 안 보이게 되기 때문에 투명한 전극이 필요한 것이다. 지금까지 개발된 재료 중에는 ITO가 가장 투명하면서 전기도 잘 통하고 생산성도 좋기 때문에 이것을 투명전극의 재료로 사용한다. ITO는 기판 재료인 유리에 비해서 threshold가 낮아서 펄초 레이저를 사용하면 유리에 손상을 주지 않고서 매우 정밀한 가공할 수 있다. 그러나 기존의 펄초 레이저 가공은 가공 속

도가 느리다는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 스캐너 가공 시스템을 도입하여 고속 펄초 레이저 가공을 하는데 목적이 있다. 그림 3은 펄초 레이저 스캐너 가공 시스템을 이용하여 유리 기판위에 100 nm 정도의 두께로 코팅된 ITO 박막을 각각 1 mm/s와 20 mm/s의 스캔 속도로 0.1×0.1 mm² 크기를 갖는 주기적인 사각 패턴을 가공한 ITO 패터닝 측정 사진이다. ITO 패터닝에서 스테이지 가공과 스캐너 가공의 특성을 비교하여 펄초 레이저를 이용한 ITO 가공의 산업체 적용 가능성을 검토하였다. 표 1에서 보는 것처럼 스테이지 가공 시스템에 비해서 스캐너 가공 시스템이 ITO 박막 가공에서 여러 가지로 유리함을 알 수 있다. 일반적으로 스테이지를 이용한 ITO 박막 가공은 정밀도가 높지만 가공 속도는 수백 $\mu\text{m/s}$ 에 불과하며 가공 조건을 잡기가 쉽지 않다는 단점이 있다. 펄초 레이저와 스캐너 가공 시스템을 이용하게 되면 가공 속도가 빠르다는 장점이외에도, ITO와 유리의 threshold 차이가 커서 가공에 필요한 레이저 세기의 범위가 넓고, 렌즈의 초점거리가 길어서 샘플의 정확한 수평을 잡을 필요가 없어서 가공이 쉽고 실제 산업체 적용 가능

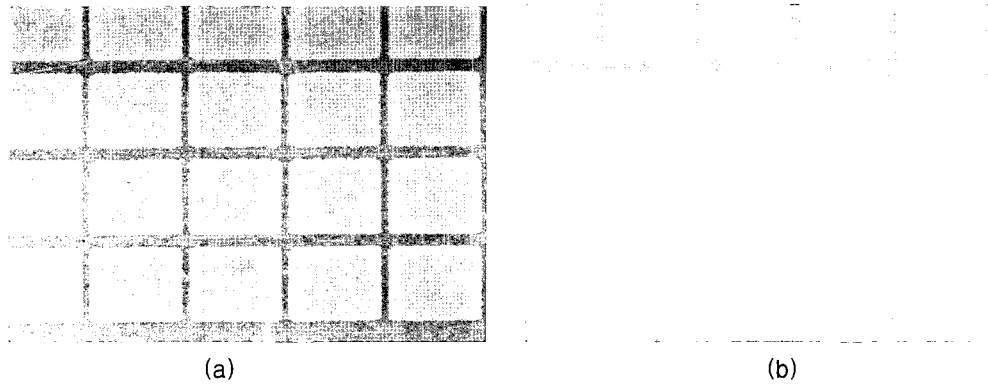


그림 3. 펄스 레이저와 스캐너를 이용하여 (a) 1 mm/s와 (b) 20 mm/s의 스캔 속도로 제작한 ITO 박막 가공 사진. ITO 박막이 가공된 각각의 영역 크기는 0.1×0.1 mm이며, ITO박막 두께는 100 nm이다.

표 1. ITO 박막 스테이지와 스캐너 가공 비교

	Stage (objective lens, f=20mm)	Scanner (telecentric lens, f=100mm)
Roughness	< 1 μ m	< 5 μ m
Threshold (ITO & Glass) @ scan speed	60 nJ & 359 nJ @ 0.1 mm/s 79 nJ & 359 nJ @ 0.5 mm/s 84 nJ & 359 nJ @ 1 mm/s	5.4 μ J & 34.6 μ J @ 1 mm/s 6.2 μ J & 90.1 μ J @ 10 mm/s 6.6 μ J & 119 μ J @ 20 mm/s
Throughput (Line pitch × Scan speed)	1 (2~3 μ m × 0.1~1 mm/s)	33~50 times (5~10 μ m × 1~20 mm/s)
Control, Management (Alignment, Pulse energy)	Difficult - short focal length (20mm) - narrow gap between the threshold of ITO & glass(<0.3 μ J)	Easy - long focal length (100mm) - wide gap between the threshold of ITO & glass(<100 μ J)

성이 매우 높음을 알 수가 있다.

3. Conclusions

나노 테크놀로지가 진보해감에 따라 나노, 서브미크론 수준의 2차원·3차원 영역에서 물질 조작이나 가공이 필요하게 되었고, 펄스 레이저 미세가공과 같은 새로운 가공기술의 개발 및 장치화가 나노 테크놀로지 분

야의 연구개발을 촉진할 것으로 기대하고 있다. 펄스 레이저는 재료의 열반응 속도보다 빠른 시간 내에 빔을 조사하기 때문에 얻어지는 비열적(Non-thermal) 성질을 이용하여 정밀 미세가공 및 기존의 레이저 가공법으로서는 시도할 수조차 없었던 투과물질 재료의 내부에 서브미크론 크기의 패턴을 3차원으로 가공하여 광통신 분야, 나노 및 바이오 관련 산업의 광범위한 분야에 활발한 응용이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 펄스

초 레이저와 스캐너 가공 시스템을 이용하여 실리콘과 유리의 정밀 홀 가공에 대한 결과를 보였다. 또한 ITO 박막 가공에서 펨토초 레이저 적용 가능성을 확인하였으며, 디스플레이 분야에서 기존의 반도체 공정을 대신할 차세대 핵심 기술로 개발이 가능할 것이다. 세계적으로 큰 시장을 형성하고 있는 디스플레이 분야에서 기존의 포토 공정 없이 패턴을 제작하는 방법으로 잉크젯 프린팅 공정과 나노 임프린트 기술과 더불어 펨토초 레이저 가공 기술이 앞으로 주목을 받으리라 예상된다.

References

1. 손익부, 이만섭, 이상만, 우정식, 정정용, "펨토초 레이저를 이용한 미세 패터닝 기술", Korean Society of Laser Processing, 8(1), pp. 39-44, 2005.
2. C. Florea, "Fabrication and characterization of photonic devices directly written in glass using femtosecond laser pulses," J. Lightwave Technol., vol. 21, pp. 246-253, 2003.
3. Ik-Bu Sohn, Man-Seop Lee, Jeong-Yong Chung, "Fabrication of optical splitter and passive alignment technique with a femtosecond laser", IEEE Photonic Technol. Lett., Vol. 17, No. 11, pp. 2349-2351, 2005.
4. J. Koch, E. Fadeeva, M. Engelbrecht, C. Ruffert, H. H. Gatzert, A. Ostendorf, B. N. Chichkov, "Maskless nonlinear lithography with femtosecond laser pulses," Appl. Phys. A 82, pp. 23-26, 2006.
5. V. Mizeikis, K. K. Seet, S. Juodkazis, H. Misawa, "Three-dimensional woodpile photonic crystal templates for the infrared spectral range," Optics Letters, vol. 29, pp. 2061-2063, 2004.