

# 펄초 레이저를 이용한 미세 패터닝 기술

손익부 · 이만섭 · 우정식\* · 이상만\* · 정정용\*

한국정보통신대학교

\*(주)포코

## Periodic patterning using a femtosecond laser

Ik-Bu Sohn, Man-Seop Lee, Jung-Sik Woo\*, Sang-Man Lee\*  
and Jeong-Yong Chung\*

Information & Communications University,

\*Phoco Co. Ltd.

### Abstract

We report experimental results on the periodic patterning using a Ti:sapphire femtosecond laser (800 nm, 100 fs, 1kHz). Periodic structures with reproducible basic patterns are produced both on the surface and inside transparent materials. Period patterning for the application to display panel is widely investigated. Also, the submicron dot and line patterns are fabricated inside fused silica glass, which is important for the formation of diffraction grating in integrated optical circuit. Finally, we demonstrate the utility of the femtosecond laser application to optical memory by fabricating the three-dimensional dot patterns.

**Key words** : Femtosecond laser processing, Micromachining, Submicron patterning

### 1. Introduction

레이저 미세 가공기술은 가공 도구인 레이저빔의 고집속 및 시/공간적 정밀제어가 가능하여 반도체, 전자, 자동차, 메카트로닉

스 등의 첨단산업 분야에서 고품질의 부품을 가공하는데 필수적인 기술로 널리 활용되어 왔다. 또한 환경 친화적이며, 비접촉 공정으로서, 수십 마이크로미터의 형상을 갖는 부품 가공영역에서 기존의 공정을 대체하는

신 공정 개발에 기여하여 왔었다. 그러나 최근 레이저 가공 공정은 열적 가공현상 및 분해능의 한계로 인하여 경량, 박판, 고밀도, 및 고집적화 되어가고 있는 산업의 추세를 따르기 힘들어졌다. 이에 따라 기존의 레이저 가공방식보다 더욱 정밀한 새로운 개념의 첨단 레이저 가공기술의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이와 같은 첨단 레이저는 수 마이크로 급의 형상 가공뿐만 아니라 열적영향이 없으며 3차원 가공이 가능한 펨토초 레이저가 대표적이다<sup>1)</sup>.

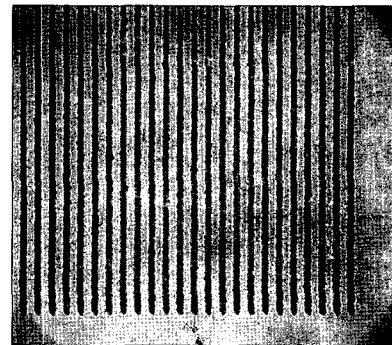
기존의 펄스 레이저는 긴 펄스시간을 가지는 램프 여기방식과 Q-스위칭방식 이었다. 이에 반해 펨토초 레이저는 모드 잠금(Mode-locking) 기술을 사용하여 펄스폭이 짧으면서 큰 첨두출력(Peak power)의 펄스를 생산하는 방식이다. 이와 같이 펨토초 레이저 가공은 극도의 높은 첨두출력(>10GW)에 의한 비선형 현상인 다광자 흡수(Multi-photon absorption) 프로세스에 의해 열을 통하지 않고 정밀한 가공을 실현하는 전혀 새로운 레이저 가공이며, 21세기 다양한 산업의 발전에 큰 영향을 주는 첨단 미세 가공이다. 광통신산업, 바이오·의료산업, 나노·신소재산업, 환경·원자력산업, 반도체·컴퓨터산업 등의 다양한 응용분야와 큰 시장을 형성하고 있다.

## 2. Surface material patterning

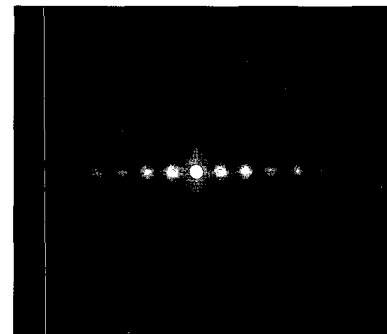
펨토초 레이저를 이용한 레이저 가공에서 가장 큰 특징은 레이저와 재료의 상호반응시 발생하는 열이 전파되는 시간을 갖지 못하기 때문에 재료의 열적손상이나 구조변화를 발생시키지 않는 장점이 있다. 다시 말하면, 재료의 국부적인 부분이 극도의 짧은 시간 내에 제거되어 일반적인 레이저 가공에서 나타나는 열확산 현상은 발생되지 않으며 기존 레이저의 열적 가공보다 정밀한 가공

이 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.

그림 1에서 보는 것처럼 펨토초 레이저를 이용하여 실리카 표면에 주기적인 직선 패턴(Line patterns)을 제작하였다. 실험에 사용된 Ti:sapphire 펨토초 레이저는 800 nm의 파장, 100 fs의 펄스폭(Pulse width)과 1kHz의 펄스 반복률(Repetition rate)을 가진다. 그림 1(a)의 직선 패턴 제작에 사용된 펨토초 레이저의 세기와 이송속도(Transfer speed)는 각각 320 nJ과 100  $\mu\text{m/s}$  이다. 제



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Microscope image of a 3- $\mu\text{m}$  period line patterns directly written on the surface of fused silica with 320 nJ pulse energy, and (b) diffraction pattern observed with He:Ne laser.

작된 직선 패턴의 선폭과 간격은 각각  $1\ \mu\text{m}$ 와  $3\ \mu\text{m}$ 이며, 그림 1(b)와 같이 633 nm He:Ne laser를 이용하여 회절 패턴을 측정하였다. 같은 방법으로 그림 2에서와 같이 펨토초 레이저를 이용하여 격자 패턴(Cross-line patterns)을 제작하고 633 nm He:Ne laser를 이용하여 회절 패턴을 측정하였다. 제작에 사용된 펨토초 레이저의 가공 조건은 그림 1에서와 같다.

펨토초 레이저를 이용한 정밀 미세 패턴 가공은 최근에 각광받고 있는 LCD와 PDP의 디스플레이 패널 등에 활용가능하다. 지

금까지 디스플레이 패널의 back light용 rib barrier 패턴 제작에는 반도체 공정이 주로 사용되었다. 본 실험에서는 이와 같은 디스플레이 패널에 들어가는 패턴 제작이 펨토초 레이저로 가능함을 보였다. 그림 3은 펨토초 레이저를 이용하여 유리와 폴리머에 제작된 가로×세로×깊이가  $450\times 170\times 200\ \mu\text{m}$ 인 패턴 형상이다. 실험에 사용된 펨토초 레이저 펄스 세기는  $200\ \mu\text{J}$ 이고 가공속도는  $4\ \text{mm/s}$ 이다. 유리와 폴리머에서의 가공 형상은 거의 같으며, 유리에 비해서 낮은 경도를 가지는 폴리머에 대한 가공속도가 3-5배 정도 빠른 차이점이 있다. 이와 같이 세계적으로 큰 시장을 형성하고 있는 디스플레이 분

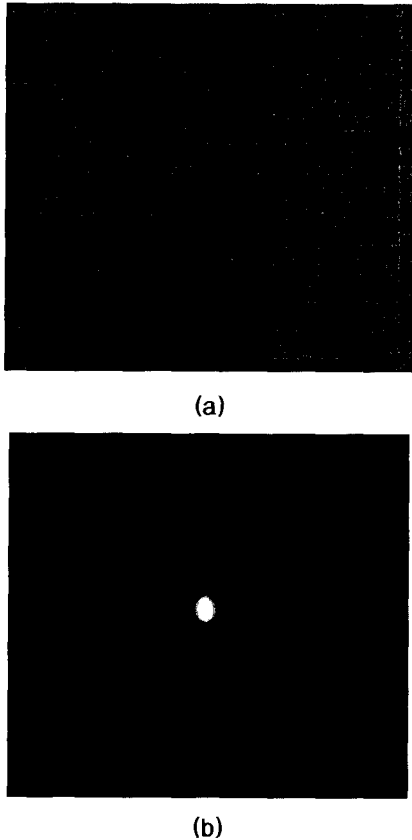


Fig. 2 (a) Microscope image of a  $4\text{-}\mu\text{m}$  period cross-line grating directly written on the surface of fused silica with 320 nJ pulse energy, and (b) diffraction pattern observed with He:Ne laser.

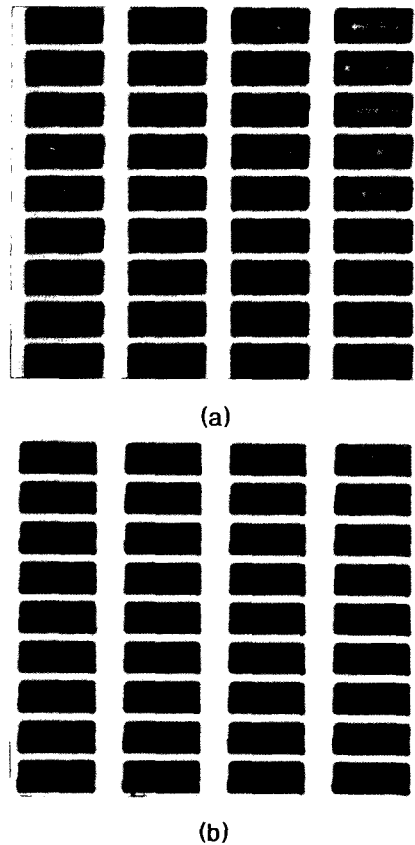
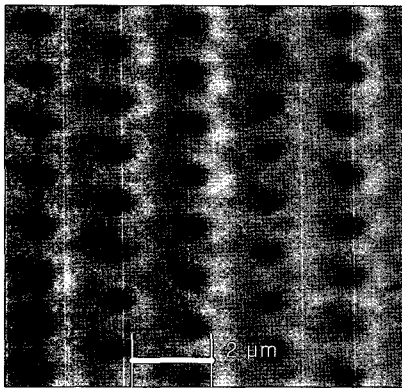


Fig. 3 Microscope image of periodic patterns fabricated in (a) glass and (b) polymer by using a femtosecond laser, which can be applicable to display panel.

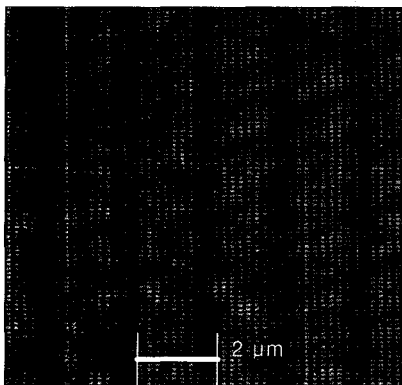
야에서 기존의 여러 단계의 프로세스를 거쳐야 하는 반도체 공정의 대안으로 펨토초 레이저가 앞으로 주목을 받으리라 예상된다. 하지만 펨토초 레이저를 이용하여 산업체에 응용하기까지는 해결해야 할 문제가 적지 않다. 펨토초 레이저의 장기 안정성(Stability), 1kHz의 낮은 펄스 반복률에 기인한 가공속도 및 가공비용 등이 그것이다.

### 3. Internal material patterning

펨토초 레이저를 이용한 가공은 투명물질(Transparent material) 내부에서도 가능하며



(a)



(b)

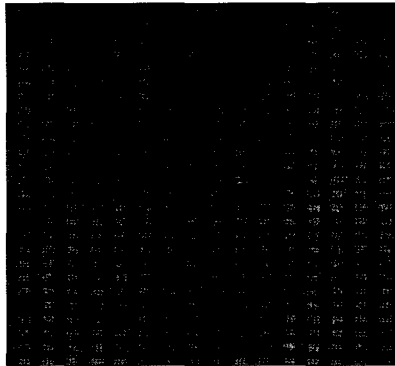
Fig. 4 Microscope image of a 2- $\mu\text{m}$  period (a) dot and (b) line patterns directly written inside fused silica with 320 nJ pulse energy. Dot diameter and line width are 500 nm.

미소공간에서 굴절을 변화를 유기하거나 발광성 결합을 생성하여 고밀도 광메모리(Optical memory), 광도파로(Optical waveguide) 및 광자결정(Photonic crystal)과 같은 광통신 소자 제작에 폭넓게 응용되고 있다<sup>2-8)</sup>. 높은 첨두출력(Peak power)을 가지는 펨토초 레이저 펄스를 투명물질의 내부에 집광하게 되면 다광자 흡수(Multi-photon absorption) 및 이온화 등의 비선형 현상에 의해서 굴절을 변화를 유기하게 된다. 또한, 자기집속(Self-focusing) 현상에 의해서 가공 선폭은 더욱 작아지게 된다.

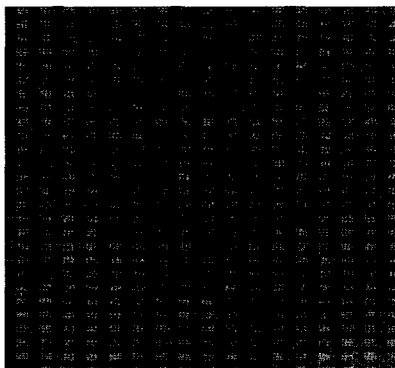
본 실험에서는 파장이 800 nm, 펄스폭이 100 fs인 펨토초 레이저를 이용하여 실리카 내부에 서브미크론(Submicron) 크기의 점(Dot) 및 직선(Line) 패턴을 제작하였다. 그림 4는 50배율의 objective lens (NA=0.42)를 사용하여 펨토초 레이저 펄스를 실리카 내부에 집광시킴으로써 선폭과 패턴 간격이 각각 500 nm와 2  $\mu\text{m}$ 인 점과 직선 패턴을 제작 하였다. 그림 4(a)와 같은 점 패턴은 약 1 Tbit/cm<sup>3</sup>의 기록밀도를 가지는 고밀도 3차원 광메모리(Optical memory)에 응용할 수 있다. 그림 5는 펨토초 레이저를 이용하여 제작한 3차원 광메모리 적용 예이다. 실험조건은 그림 4(a)와 같으며 세 개의 층으로 이루어져 있다. 점 패턴과 층의 간격은 각각 2  $\mu\text{m}$ 와 7  $\mu\text{m}$  이다. 이번 실험에서 제작된 점 패턴의 기록밀도는 36 Gbit/cm<sup>3</sup> 이며, 이것은 앞으로 높은 개구수(NA)를 가지는 고배율의 objective lens를 사용하게 되면 충분히 개선이 가능하다. 이와 같이 펨토초 레이저를 이용한 서브미크론 크기의 점과 직선 패턴 가공은 주기적인 포토닉 밴드 갭(Photonic band gap) 구조를 갖는 광자결정(Photonic crystal)이나 브래그 격자(Bragg grating) 제작이 가능하며, 그 외에도 다양한 응용 가능성을 보여준다.

### 4. Conclusions

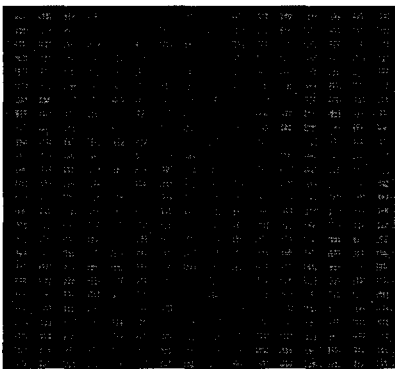
나노 테크놀로지가 진보해감에 따라 나노, 서브미크론 수준의 2차원·3차원 영역에서 물질 조작이나 가공이 필요하게 되었고, 펄스 레이저 미세가공과 같은 새로운 가공 기술의 개발 및 장치화가 나노 테크놀로지 분야의 연구개발을 촉진할 것으로 기대하고 있다. 펄스 레이저는 재료의 열반응 속도보다 빠른 시간 내에 빔을 조사하기 때문에 얻어지는 비열적(Non-thermal) 성질을 이용하여 정밀 미세가공 및 기존의 레이저 가공 방법으로는 시도할 수조차 없었던 투과물질 재료의 내부에 서브미크론 크기의 패턴을 3차원으로 가공하여 광통신 분야, 나노 및 바이오 관련 산업의 광범위한 분야에 활발한 응용이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 디스플레이 분야에 응용할 수 있는 유리나 폴리머 표면의 주기적인 패턴 가공과 광통신 소자에 유용한 실리카 내부에 서브미크론 미세 패턴 제작 및 36 Gbit/cm<sup>3</sup>의 기록밀도를 가지는 3차원 고집적 광메모리에 대한 실험 결과를 얻었다. 그러나 현재 펄스 레이저가 생산성을 향상시키기 위해서는 높은 출력과 펄스 반복률(Repetition rate)을 가지며 동시에 장기 안정성을 갖는 펄스 레이저의 개발이 이루어져야 한다. 이외에도 가공 속도를 높일 수 있는 레이저 시스템과 가공 기술도 해결해야 될 과제로서 남아있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Microscope image of 3D dot patterns consisted of three layers, which is applicable to optical memory. (a) First layer displays the letter of I, (b) second layer displays the letter of C, and (c) third layer displays the letter of U. The layer gap and dot pitch are 7 μm and 2 μm, respectively.

### Acknowledgements

본 연구는 한국정보통신대학교 광인터넷 연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 도움을 주신 (주)포코와 기계연구원 이제훈 박사님께 감사드립니다.

## References

1. 이제훈, 서정, 신동식, “극초단 펄스 레이저를 이용한 미세 패터닝기술”, 한국레이저가공학회지 vol. 7, pp. 1-10, 2004.
2. Miura, J. Qiu, H. Inouye, T. Mitsuyu, and K. Hirao, “Photowritten optical waveguides in various glasses with ultrashort pulse laser,” Appl. Phys. Lett., vol. 71, pp. 3329-3331, 1997.
3. M. Li, M. Ishizuka, X. Liu, Y. Sugimoto, N. Ikeda, and K. Asakawa, “Nanostructuring in submicron-level waveguides with femtosecond laser pulses,” Opt. Commun., vol. 212, pp. 159-163, 2002.
4. A. M. Streltsov and N. F. Borrelli, “Fabrication and analysis of a directional coupler written in glass by nanojoule femtosecond laser pulses,” Opt. Lett., vol. 26, pp. 42-43, 2001.
5. L. Gui, B. Xu, and T. C. Chong, “Microstructure in Lithium Niobate by use of focused femtosecond laser pulses,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 16, pp. 1337-1339, 2004.
6. 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.
7. S. H. Cho, H. Kumagai, K. Midorikawa, “Fabrication of multi-core structures in an optical fiber using plasma self-channeling,” Optics Express, vol. 11, pp. 1780-1786, 2003.
8. Ik-Bu Sohn, Man-Seop Lee, Jung-Yong Chung, Sung-Hak Cho, “Nano structuring of transparent materials by femtosecond laser pulses”, Journal of Optical Society of Korea, vol. 9, pp. 1-5, 2005.