

고정 마스크에 의한 레이저 미세패터닝 쾌속 제작

신 보 성 · 오 재 용
부산대 정밀정형 및 금형가공연구소

Rapid Manufacturing of Laser Micro-Patterning Using Fixed Masks

B. S. Shin and J. Y. Oh
ERC/NSDM, Pusan University

Abstract

The technologies of laser micromachining are changed toward more complex-micropatterning, from the micro circle-shaped hole drilling to the micro arbitrary-shaped hole drilling. In this paper, the fundamental experiments by using DPSS 3rd harmonic Nd:YVO₄ laser($\lambda=355\text{nm}$) were carried out in order to obtain the feasibility of flexible micropatterning by various fixed masks. Fixed masks and Galvano scanners were investigated to make micro patterns. From these experimental results, micropatterns on PEN film were rapidly manufactured in large area.

Key words : micro-patterning, fixed mask, DPSS 355nm, rapid manufacturing

1. 서 론

첨단 산업의 발전과 더불어 고부가가치 산업으로서 고도의 정밀도를 요구하는 생산 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 그리고 제품의 미세화, 정밀화에 따라 상품의 부가가치는 소형화에 따른 성능(Performance) 향상, 소비 에너지(Power) 절감, 가격(Price)

감소의 3P 효과가 있어 더욱 높아지게 된다. 특히 다품종 소량 생산, 신제품 개발주기의 단축 및 특수 전용부품의 주문 제작이 증가하면서 유연성 있게 대처할 수 있는 공정개발의 필요성이 증대되고 있다. 하지만 마이크로미터 범위의 다양한 패턴을 제작하기에는 경제성이 낮은 것이 현실이다.¹⁻⁴⁾ 최근 하나의 방법으로 레이저빔을 다양한

형상으로 구현하여 가공하는 연구가 진행되고 있다. 레이저를 이용한 미세형상 가공은 마이크로 비아홀 가공을 중심으로 연구되어져 왔으며, 빔의 전달을 자유롭게 조절할 수 있고 가공 특성들의 제어가 용이하다. 따라서 많은 응용 기술에 적용이 가능하므로 레이저를 이용한 마이크로 패턴 가공이 더욱 주목받고 있다.⁵⁻¹⁰⁾

본 논문에서는 넓은 범위에 다양한 패턴을 마이크로 선폭으로 고속으로 전사할 수 있는 광패턴 장치 및 기술 개발을 위하여 가변 레이저 미세 패터닝(flexible laser micro patterning)의 기초 연구로서 고정 마스크를 사용하여 마이크로 크기의 미세 패턴을 제작하였고, 가공 상태를 실험적으로 구명하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 시스템 구성

본 논문에서는 사용된 레이저빔 발생장치는 미국의 DPSS Lasers사의 DPSS UV Laser로 파장 355nm, 빔직경 2mm, 30.303kHz의 펄스 반복률 그리고 20nsec의 펄스폭을 갖는다. DPSS UV laser는 엑시머 레이저에 비해 출력이나 빔의 크기 등에서 단점이 있지만 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높아 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 많이 이용된다.¹¹⁻¹⁴⁾ 50 μ m 두께의 구리판에 슬릿형, 십자형 및 삼각형 모양의 고정마스크를 만들었으며, 발전기에서 나온 레이저를 빔익스펜더(beam expander)로 2-4배 확대하여 고정마스크로 투과시켜 집광하여 마이크로 크기의 미세 패턴 형상을 제작하였다. 그리고 레이저는 패턴이 형성된 상태로 갈바노 스캐너(Galvano scanner)로 들어가게 함으로써 미세 패턴을 빠른 시간 내에 쾌속 제작하였다. 갈바노 스캐너의

초점거리는 168mm이고 스폿 직경은 20 μ m이다.

Fig. 1 (a)는 레이저 시스템의 사진을 보여주고 있으며 (b)는 이에 대한 개략도이다. Fig. 2는 고정마스크로 (a)는 선폭(width) 0.5, 1.0 그리고 1.5mm의 슬릿형 패턴, (b)는 한 변(length) 5, 10mm인 정삼각형 패턴, 그리고 (c)는 십자모양 패턴으로 선폭(width) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0mm 이다. 레이저 장비의 사양은 Table 1에 나타내었다.

2.2 재료 및 실험 방법

가공 시편은 두께 25 μ m의 PEN 필름을 사용하였으며 물성치는 Table 2와 같다. PEN 필름의 레이저 어블레이션은 내부분자

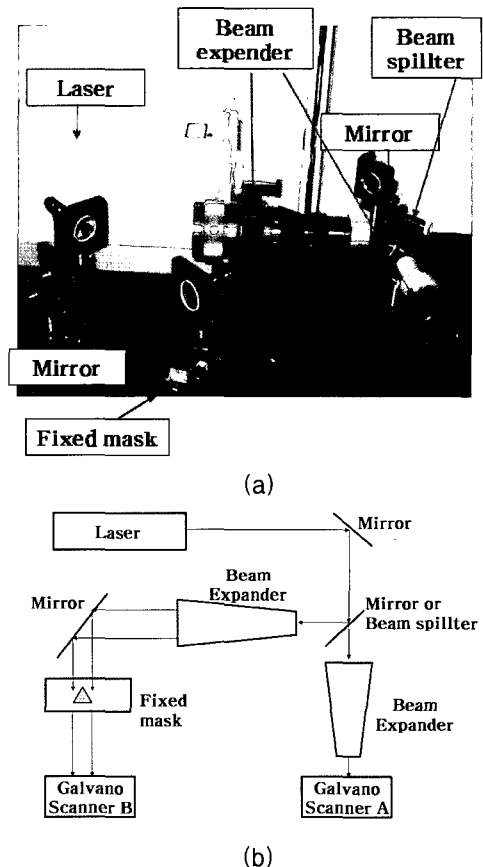


Fig. 1 Laser system (a)Photo of laser optics, (b)Schematic diagram

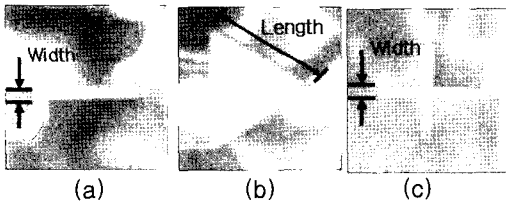


Fig. 2 Various fixed mask patterns (a)Slit type, (b)Triangle type, (c)Crisscross type

결합이 광화학적 반응과 열적 반응에 의해 분해되는 것이며 그 과정이 레이저 조사 이후 급속히 외부로 번져나가며 레이저 빔 조사 후 약 20-30 μs 이내에 이루어진다.¹⁵⁻¹⁹⁾

본 실험에서는 마스크 패턴의 종류, 크기, 빔 확대 배율 및 레이저 파라미터들을 조정해 가며 실험을 하였고, 가공 상태를 향상시키기 위해 질소를 사용하여 산화를 방지하였다.

본 연구는 고정 형상 마스크를 이용하여

Table 1 The specifications of laser

DPSS Laser	
Wavelength	355 nm
Average power	0.1-5.0 Watt
Pulse length	20 nsec
Repetition rate	30-100 kHz
Mode	M ² <1.25 TEM ₀₀
Beam diameter	2 mm
Beam divergence	<0.5 mrad

Table 2 The specifications of PEN film

PEN film	
Thickness	25 μm
Density	1.36 g/cm ²
Roughness	35 nm
Haze	4 %
Light Transmission	87 %
Glass Transition Temp.	123 $^{\circ}\text{C}$
Melting point	266 $^{\circ}\text{C}$

마이크로 크기의 특정 패턴을 레이저로 가공을 하기 위한 기초 연구로서, 가공 특성을 규명하고자 하였다. 우선 시편에 정확한 패턴 가공을 하기 위한 최적 가공 조건을 찾았으며, 패턴의 기하학적 특성에 따른 가공 상태의 변화를 실험적으로 연구하였다.

미세 패턴이 가장 정확히 형성되는 조건을 찾기 위하여 패턴 공정 변수로서 마스크의 선폭 너비, 레이저 에너지 밀도(flucose), 질소분위기 및 레이저 배율 등을 설정하였으며, 시편에 가공된 패턴 크기(micro pattern size) 및 선폭 너비(line width)를 광학 현미경으로 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 슬릿 패턴

최적의 가공 조건은 3배율 빔, 마스크 패턴 선폭 0.5mm, 단위 펄스 당 에너지 5.95 J/cm²일 때였으며, 마이크로 패턴의 선폭은 10 μm 였다. 마스크의 패턴 선폭이 증가할수록 형상 구현이 잘 되지 않고, 에너지 밀도가 증가할수록 가공된 패턴의 크기가 커짐을 알 수 있다. 빔이 4배율일 때는 3배율일 때 보다 가공이 깨끗하지 못하고, 가

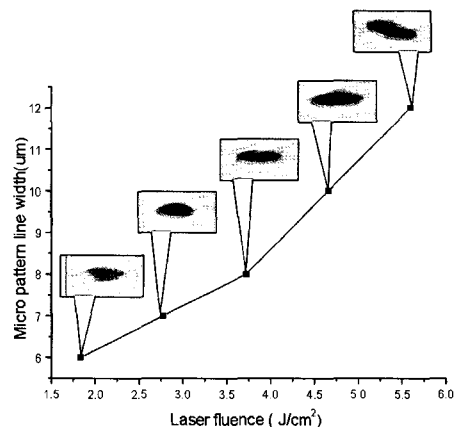


Fig. 3 Relationship between micro pattern pattern line width and laser fluence

공된 패턴의 크기는 작아졌다. 그 원인으로
는 에너지 손실이 많아져서 레이저 강도가
약해지기 때문이라고 판단된다. Fig. 3은 레
이저 플루언스와 패턴 선폭의 관계를 그래
프로 나타낸 것으로 플루언스가 증가할수록
패턴 선폭도 커지는 것을 확인하였다. 패턴
형상이 정확한 슬릿형이 아니고 중앙부가
불룩한 이유는, 빔의 에너지 밀도가 가우시
안 분포를 따르므로 중앙부의 에너지가 높
기 때문이다. Fig. 4 (a)는 마스크를 지난
빔의 형상이며, (b)와 (c)는 30.303kHz의
반복률로 대면적에 일정한 간격으로 고속
가공된 사진이다.

3.2 십자형 패턴

최적의 가공 조건은 질소분위기에서 3배
을 빔, 마스크 패턴 선폭 0.5mm, 단위 펄스
당 에너지 $5.95\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때였으며, 마이크로
패턴의 선폭은 $13\mu\text{m}$ 였다. 형상이 복잡해질
수록 산화흔적과 열적 반응에 의한 패턴의
찌그러짐 현상이 두드러지므로 산화를 방지
하기 위하여 보호 가스로써 질소분위기 조
성이 필수적이다. 에너지 분포가 가우시안
형상이기 때문에 중심부의 에너지가 높으며
로 패턴 중앙에 구멍이 뚫리는 현상이 발생
하였고, 가공된 패턴 형상이 굴곡진 마름모
형으로 나타난다. Fig. 5(a)는 고정마스크를
통과한 후 빔 형상이며 (b), (c)는 대면적에
고속 가공된 모습을 보여준다.

3.3 삼각형 패턴

최적의 가공 조건은 4배율, 마스크 패턴
의 삼각형 변의 길이 8mm, 단위 펄스 당
에너지 $2.97\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때였으며 마이크로 패
턴의 삼각형 크기는 변의 길이 $26\mu\text{m}$ 이다.
삼각형 패턴은 에너지 손실이 거의 없고 모
든 조건에서 가공이 잘 되는 편이나 빗변이
둥글게 가공된다. 레이저에 의한 PEN film

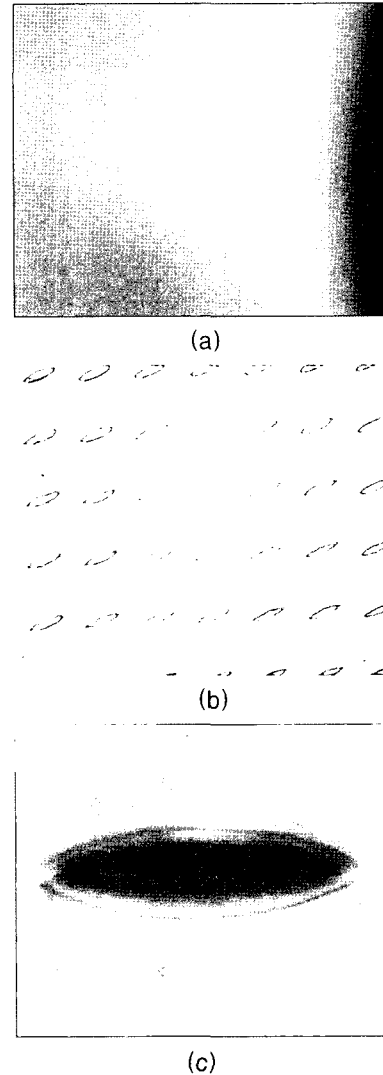
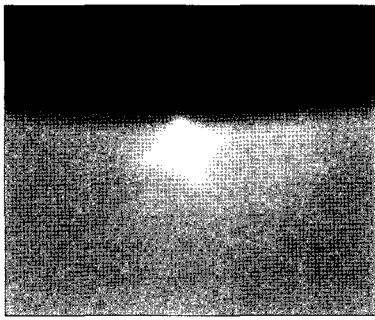
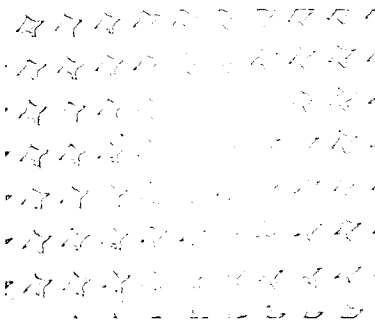


Fig. 4 Slit-Pattern shapes (a)Beam shape passed through fixed mask, (b)Micro patterns at low resolution, (c)Micro patterns at high resolution

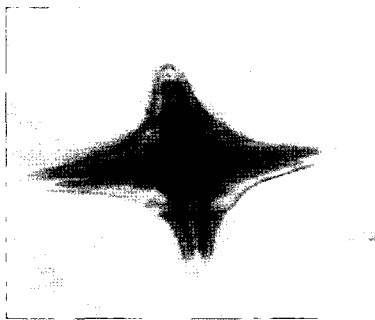
의 가공은 열적 영향도 받게 되므로, 공정
변수를 변화시키는 것보다 마스크 패턴의
기하학적 형상을 보정함으로써 비교적 정
확한 삼각형 모양을 얻을 수 있었다. Fig. 6
(a)는 고정 마스크를 지난 후 빔의 형상이
다. (b)는 30.303kHz의 반복률로 대면적에
일정한 간격으로 고속 가공된 사진이며 (c)
는 패턴 하나만 확대한 사진이다.



(a)

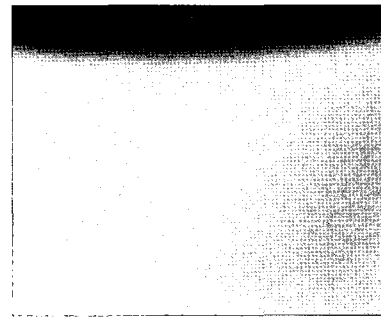


(b)

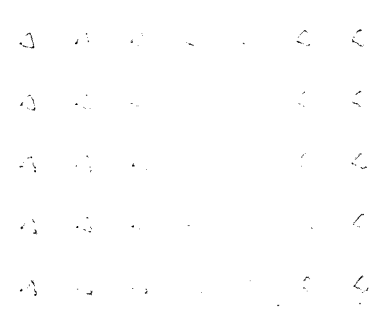


(c)

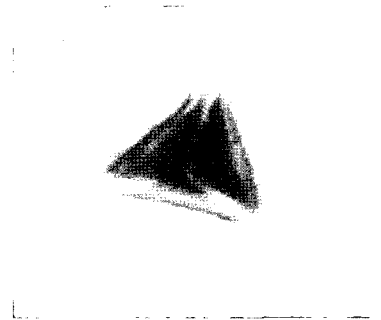
Fig. 5 Crisscross-Pattern shapes (a)Beam shape passed through fixed mask, (b)Micro patterns at low resolution, (c)Micro patterns at high resolution



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Triangle-Pattern shapes (a)Beam shape passed through fixed mask, (b)Micro patterns at low resolution, (c)Micro patterns at high resolution

4. 결 론

고정 마스크에 의한 레이저 패터닝 실험은 향후 연구할 유연한 패턴(flexible pattern)을 이용한 레이저 패터닝의 기초 연구로써 여러 가지 공정 변수가 가공 상태에 미치는 영향에 대해 알아보고자 하였다.

첫째, 본 실험을 통하여 다양한 형태의 고정 마스크를 이용한 마이크로 패턴을 빠른 시간 내에 제작하는 기법에 대한 연구를 하였으며, 실험적으로 이러한 연구의 유용성을 확인하였다.

둘째, 레이저의 에너지 밀도 분포에 따라 가공 가능한 패턴의 형상에 한계가 있음을 확인하였다. 빔의 에너지 밀도가 가우시안

분포이므로 슬릿형 패턴에서는 중앙이 볼록한 형태로 가공이 되었으며, 십자형 패턴에서는 중앙이 움푹 파이거나 구멍이 나는 현상을 관찰되었다. 삼각형 패턴에서는 빗변이 둥글게 가공되었다. 복잡한 형상의 다양한 패턴을 가공하기 위해서는 일정한 에너지 밀도 분포를 갖는 빛이 필요하다.

셋째, 고정 마스크의 형상이 복잡하거나 모서리가 많을 경우, 마이크로 패턴이 찌그러짐이 크게 발생하였다. 질소 분위기에서 가공을 하면 이러한 현상이 현저히 감소하여 가공 상태가 좋아지는 것을 확인하였다. 향후 이러한 연구 결과를 바탕으로 유연한 마스크 제작 및 다양한 미세 패턴을 빠른 시간 내에 고속 패터닝하는 기술을 계속 연구할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원 핵심기술개발 사업인 "첨단레이저 응용 미세가공기술 개발" 과제의 지원으로 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

1. 신동석, 이제훈, 한유희, 이영문, "Nd:YAG 레이저를 이용한 스텐실 절단공정", 한국레이저가공학회지, Vol.3 No.3, 2000
2. 장원석, 신보성, 김재구, 황경현, "DPSSL을 이용한 3차원 마이크로 형상 조각기술", 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol.2002 No.2, 2002
3. Y. S. Liu, H. S. Cole, H.R. Philipp and R. Guida, "Lasers in microlithography", SPIE, 774, 1987
4. E. Sutcliffe and Srinivasan, "Dynamic of UV laser ablation of organic polymer surfaces", J. Appl. Phys., 60, pp.3315-3322, 1986
5. 한유희, 이제훈, "LIFT 방법에 의한 전도성 미세 패터닝 공정 연구", 한국레이저가공학회지, Vol.2 No.3, 1999
6. D.J. Ehrlich, J.Y. Tsao, "Laser microfabrication : Thin film processes and lithograph.", Boston, academic Press, 1989
7. T.H. Baum, "Laser-induced chemical vapor deposition of high-purity metals", Laser/Optical processing of electronic materials, SPIE Vol. 1190, pp.188, 1989
8. M. Metzger, H. Reichel, "Laser direct writing of gold to repair defective lines in thin-film metallization", Appl. Surf. Science 69, pp.69, 1993
9. C.M. Harosh, V. Kumar, A. Parbhakar, "A novel laser direct writing technique for fabrication of thin film MIC's", IEEE Tran. on semiconductor Manufacturing, Vol. 6, pp.279, 1993
10. 장원석, 신보성, 김재구, 황경현, 윤경구, "DPSSL UV 응용 미세 형상 가공", 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol.2001 No.1, 2001
11. 김재구, 장원석, 신보성, 장정원, 황경현, "DPSS UV 레이저를 이용한 다층기판의 블라인드 비아 가공", 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol.2002 No.1, 2002
12. W. W. Duley, "UV Lasers : effects and applications in material science", Cambridge university press, 1996
13. John C. Mirrer, "Laser Ablation : Principles and Applications", Springer-Verlag, 1994
14. David J. Elliott, "Ultraviolet Laser Technology and Applications", Academic Press, Inc., 1995
15. 김재구, 장원석, 신보성, 장정원, 황경현, "DPSS UV 레이저를 이용한 블라인드

- 비아 홀 가공”, 한국레이저가공학회지, Vol.6 No.1, 2003
16. A. Rognert, J. Eicher, D. Munchmeyer, R. Peter and J. Mohr, "The LIGA technique what are the new opportunities", J. Michromech Microeng 2, pp.133-140, 1992
 17. 신재호, 김도훈, 정재훈, 노철래, 김광일, "레이저빔을 이용한 알루미나(Al_2O_3)와 폴리머재료의 천공에 관한 연구", 한국 레이저가공학회지 Vol.4 No.3, 2001
 18. Un-chul PAEK, Francis P. Gagliano, "Thermal analysis of laser drilling processes", IEEE journal of qianrmtu electronics Vol.8, No.2, pp112-119, 1972
 19. Friedrich Dausinger, "Drilling of high quality micro holes", section B-ICALEO pp.1-10, 2000

