

DPSSL UV 응용 미세 형상 가공

Micro Patterning by DPSSL UV

한국기계연구원 자동화연구부 김재구, 윤경구, 장원석, 신보성, 황경현

I. 서론

DPSSL의 3고조파(355nm)를 이용한 미세형상 가공 기술은 최근 마이크로 비아홀 가공을 중심으로 활발히 연구되고 있다. 기존의 미세형상 가공에 사용되는 레이저로는 UV의 엑시머 레이저가 주종을 이루고 있었으나 일부 응용에 대해서는 DPSSL의 UV대역을 이용한 가공으로 급속히 변화가고 있는 추세이다. 그 이유 중 하나는 미세가공을 위한 UV 파장대를 발전시키는 에너지원이 엑시머 레이저인 경우 출력이나 빔의 크기면에서 유리하나 마스크 제작의 비용, 시간 및 설계 변경문제, 위험한 가스의 관리 및 비용 문제 때문이며, 따라서 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높은 DPSSL를 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 의해 사용하고 있다.

UV에 의한 재료가공은 광에 노출된 재료와의 상호작용 작용에 의해서 일어나며, 재료의 흡수성질에 따라 다르지만 폴리머의 경우 내부분자 결합이 열 영향에 의한 것이라기보다는 광 화학 작용에 의해 파괴되어 급속히 외부로 나가며 그 과정은 레이저 빔 조사 후 약 20~30 μ s 이내에 이루어진다. 재료별 어블레이션 깊이/펄스는 단위 면적당 에너지밀도에 의해 다르지만 관통가공이 아닌 경우 펄스 수에 의해 가공깊이를 수 μ m급으로 이하로 제어할 수 있어 미세가공에 유리하다. 또한 파장이 짧으므로 미세가공에 유리하여 회로기판 비아홀 가공, 반도체 부품 제작, 미세 마킹, 의료용 부품 제작, 프린터 헤드 노즐 가공 등 여러 산업분야에 폭넓게 응용되고 있다.

본 가공에서는 DPSSL의 3고조파를 이용하여 여러 산업분야에 응용이 가능한 미세형상을 가공하는 시스템을 구성하고 이를 이용하여 몇 가지 미세패턴 가공 실험을 수행하였다.

II 실험방법

미세 형상 가공실험에 사용된 레이저빔 발생장치는 Coherent사의 DPSSL 제 3고조파(355nm)를 사용하였으며 미세패턴을 형성하기 위하여 Scanlab사의 스캐너 및 XYZ 스테이지를 이용하였고 레이저 및 스캐너의 자세한 사양은 다음 Table 1과 같다. 전체적인 시스템 구성도는 Fig. 1과 같이 각 요소들에 대한 제어부들은 PC내부에 설치하였고 실험에 필요한 전체적인 통합 S/W는 Visual C++를 이용하여 프로그래밍 하였다. 이러한 시스템을 이용하여 광학계 구성을 위한 빔의 특성 측정과 이송부의 정밀도 측정을 하였고 미세 형상 가공을 위한 기초실험과 몇 가지 미세 형상에 대한 가공을 폴리이미드 재질에 대하여 수행하였다.

Table 1 The specifications of DPSSL & scanner

Laser		Scanner	
Wavelength	355 nm	Wave length	325-357nm
Average Power	1.5 Watts	Focal length	100mm
Mode	TEM ₀₀ (M ² <1.3)	Aperture	10mm
Beam Diameter	2.4mm	Image Field	50×50mm ²
Beam Divergence	<0.3mrad	Step Response	1.1ms
Pulse Repetition	1~100 kHz	Repeatability	<22 μ rad
Pulse Duration	<40 ns	Damage Threshold	50W/cm ²

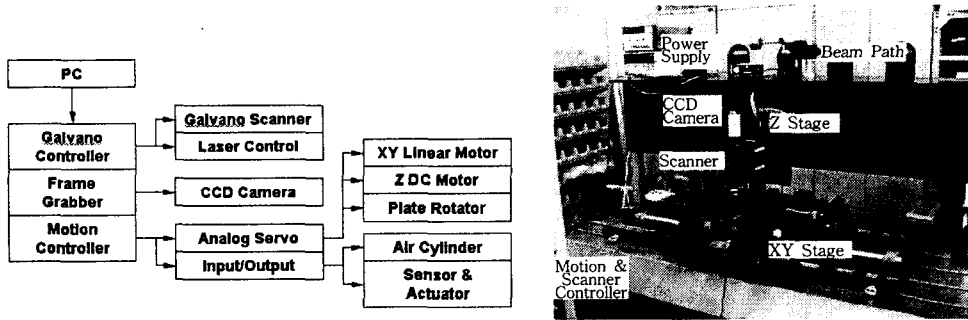


Fig. 1 Schematic diagram and photo for micro patterning system

III 결과 및 고찰

1. 레이저 빔 특성 측정

가공실험에 앞서 광학계 구성을 위한 빔 특성을 측정하였다. 이는 시스템에서 응용할 수 있는 여러 가지 가공 형태를 수행하기 위한 기본적인 작업이며 가공품위를 높이기 위하여서는 빔의 특성이 중요한 요인이기 때문이다. 먼저 빔 발진의 안정성과 단펄스의 파형을 측정하기 위해 다음 Fig. 2와 같이 측정 시스템을 구성하였고, 사용된 측정기로는 2GSa/s의 디지털 오실로스코프(HP)를 사용하였다. 빔 발진 안정성과 RS232C에 의한 외부 에너지 변화입력에 대한 응답성의 경우 에너지검출기(Newport)를 사용하여 5Hz로 샘플링한 데이터를 A/D를 통해 PC로 저장하였고, 단펄스 파형의 경우 1ns 분해능을 가진 포토검출기(Scientech)를 사용하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같이 응답성은 1초이내 정도로 확인할 수 있었고 빔 안정성은 사양의 5%이하에 어느 정도 일치함을 알 수 있었다. 또한 단펄스의 경우는 사양의 40ns에 비해 약간 크게 나타났다.

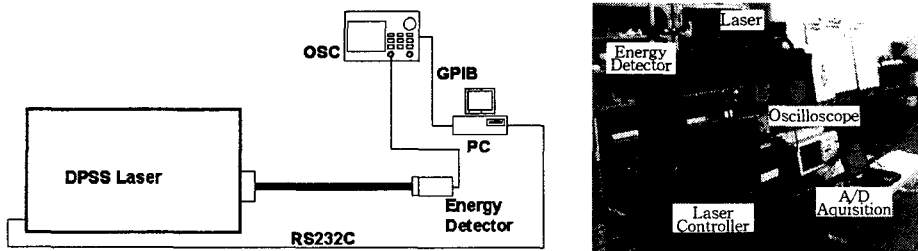


Fig. 2 Experimental setup for measuring the beam characteristics

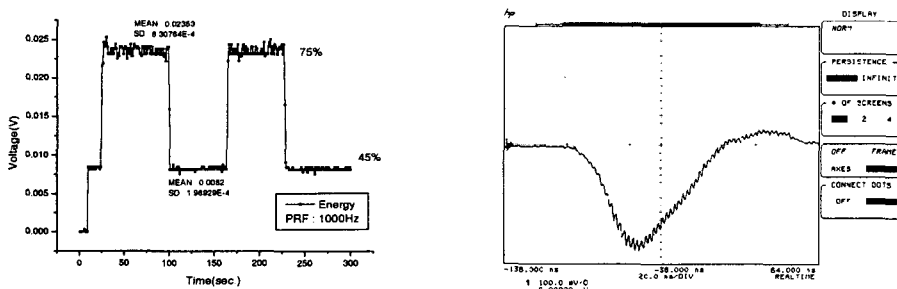


Fig. 3 Beam characteristics of stability and waveform of one pulse

2. 이송부 위치 결정도 측정 및 보상

이송부의 위치 결정정도는 구성된 시스템으로 큰 면적에 대해 미세형상을 가공할 때 위치를 어느 정도까지 정확히 맞출 수 있는지를 나타내는 것으로 미세 정밀가공 시스템에는 중요한 요인중의 하나이다. X축에 대한 위치결정정도를 구하기 위해 사용된 측정기로는 레이저 인터페로미터(HP5519A)를 사용하였고 측정은 반전사이클 방식으로 하였으며 ISO 230-2, 2 σ 규격에 따라 오차값을 구하고 이를 모션 컨트롤러에서 보상하도록 하였다.

그 결과로 다음 Fig. 4와 같이 사용된 모터, 리니어 엔코더(0.5 μm 분해능)와 테이블의 조립의 오차에서 나타나는 위치결정정도는 49.642 μm , 반복도는 2.112 μm 이었으나 모션 컨트롤러(Delta tau, PMAC2)에서 보상 후에는 위치결정정도 1 μm 정도, 반복도 1 μm 이내로 하여 큰 면적의 미세형상을 가공하는데 필요한 정밀도를 확보할 수 있었다.

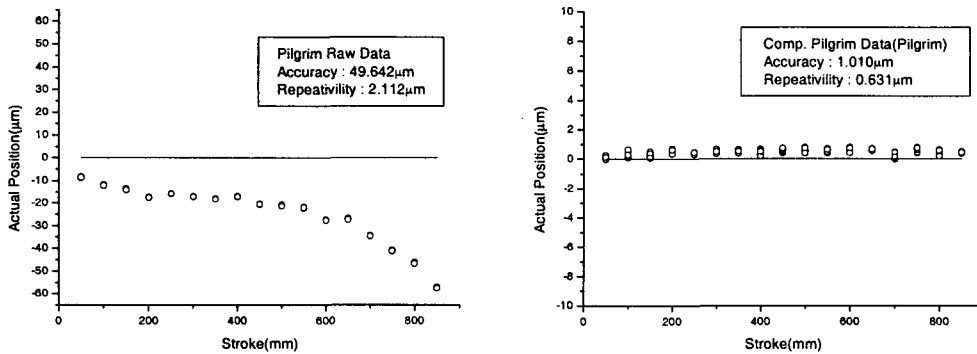


Fig. 4 Graph of position accuracy before and after compensation

3. 기초실험 및 미세 형상 가공

기초실험시 초점거리는 실제 레이저 빔을 감광지에 입사하여 가장 적게 나타난다고 생각되어지는 부분을 초점 위치라 생각하고 그 위치에서 Polyimide 재질을 대상으로 실험을 진행하였다. 스캐너와 레이저와의 제어는 스캐너 컨트롤러에서 나오는 펄스를 레이저에서 요구하는 트리거 신호로 적절히 변환한 후 레이저 컨트롤러에 입력하여 펄스 수, 펄스 반복율을 조절할 수 있도록 하여 가공하였다.

그 결과로서는 Gaussian Beam의 중앙부분의 에너지가 높으며 가공 깊이 형상도 Fig. 5에 보는 바와 같이 전체적으로 Gaussian 형상을 보였다. 또한 레이저의 펄스 신호와 스캐너의 구동 신호가 적절하지 못해 빔의 다음위치로의 진행 방향으로 마지막 펄스가 조사되는 것으로 보여 스캐너 변수의 조정이 필요하리라 생각된다.



Fig. 5 Photo of poly-imide drilling(ϕ 50 μm)

기초실험 결과로서 Fig. 6에 나타나듯이 정량적인 수치를 제시하기에는 측정 오차 등으로 인해 다소 미흡하나 레이저 출력과 가공 펄스 수를 변수로 하여 나타난 정성적인 결과로서는 출력의 변화에는 관계없이 구멍의 직경은 일정한 경향을 보였으며 구멍의 깊이는 출력의 변화에 어느 정도 선형적인 증가를 가져오는 경향을 보였다.

이러한 기초실험을 토대로 하여 전체 직경 2mm, 리브 250 μm , 내부 직경 900 μm 의 마이크로 진동자와 슬릿폭 40 μm 의 반도체 검사 장비 부품으로 사용되는 가이드 필름을 가공하였다.

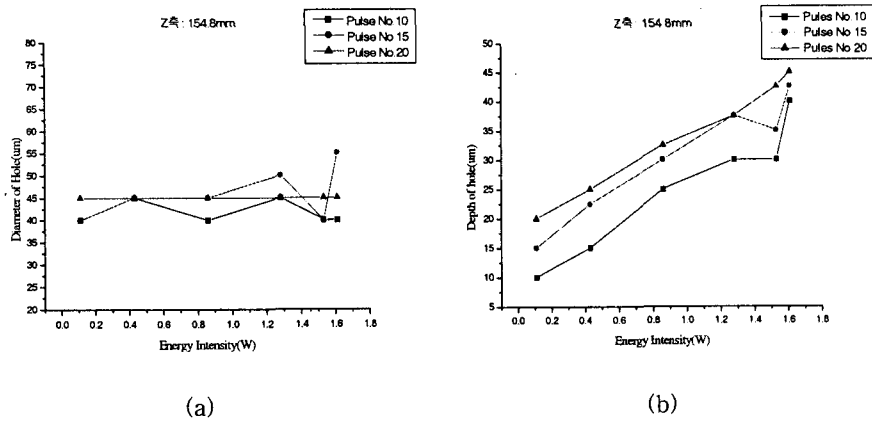
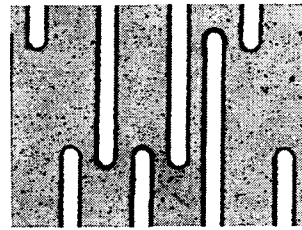


Fig. 6 Ablation diameter(a) and depth(b) versus power with different pulses



Overall size 2mm, Rib 250μm



Slit width 40μm

Fig. 7 Photo showing the sample patterned by DPSSL

IV 결론

미세형상을 가공하기 위하여 시스템을 구성하고 가공실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 빔 특성을 측정하여 결과 사양에 준하는 빔 안정성과 펄스 폭을 확인하였고, 에너지 변화 응답성은 1초 정도로 측정되었으며 이를 광학계 구성에 참고하였다.
2. 큰 면적의 미세형상을 가공하기 위해 1μm의 위치결정정도, 1μm이하의 반복도로 스테이지의 충분한 정밀도 확보하였다.
3. 미세 형상을 가공하기 위한 기초실험을 수행하여 마이크로 진동자 및 반도체 장비 부품용 슬릿을 40μm폭으로 가공하였다.

V 참고문헌

1. John F. Ready, Industrial Applications of Lasers, Academic Press, 1997
2. W. W. Duley, UV Lasers : effects and applications in material science, Cambridge university press, 1996
3. John C. Miller, Laser Ablation : Principles and Applications, Springer-Verlag, 1994
4. David J. Elliott, Ultraviolet Laser Technology and Applications, Academic Press, Inc., 1995
5. US Patent, Patent No. 5841099, 11. 1998