

UV 레이저에 의한 블라인드 비아홀 가공

장정원*, 김재구, 신보성, 장원석, 황경현(한국기계연구원)

Blind via Hole manufacturing technology using UV Laser

J. W. Chang, J. G. Kim, B. S. Shin, W. S. Chang, K. H. Hwang(KIMM)

ABSTRACT

Micro via hole Fabrication is studied by means of minimizing method to circuit size as many electric products developed to portable and minimize. Most of currently micro via hole fabrication using laser is that fabricate insulator layer using CO₂ Laser after Cu layer by etching, or fabricate insulator layer using IR after trepanning Cu by UV.

In this paper, it was performed that a metal layer and insulator layer were worked upon only one UV laser, and increase to processing speed by experiment.

Key Words : UV Laser, Laser Ablation, Blind Via Hole, Laser Manufacturing.

1. 서론

DPSSL의 3고조파(355nm)를 이용한 미세 형상 가공 기술은 최근 마이크로 비아 홀 가공을 중심으로 활발히 연구되고 있다. 기존의 미세 형상 가공에 사용되는 레이저로는 UV의 엑시머 레이저가 주종을 이루고 있었으나 일부 응용에 대해서는 DPSSL의 UV 대역을 이용한 가공으로 급속히 변화하고 있는 추세이다. 그 이유 중 하나는 미세가공을 위한 UV 파장대를 발진시키는 에너지원이 엑시머 레이저인 경우 출력이나 빔의 크기 면에서 유리하나 마스크 제작의 비용, 시간 및 설계 변경 문제, 위험한 가스의 관리 및 비용 문제, 저 반복율 등 때문이며, 따라서 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높은 DPSSL를 백터 스캐닝 방식의 가공 방법에 의해 사용하고 있다.

UV에 의한 재료 가공은 광에 노출된 재료와 상호 작용에 의해서 일어나며, 재료의 흡수성질에 따라 다르지만, 폴리머의 경우 내부분자 결합이 열 영향에 의한 것이라기 보다는 광화학 작용에 의해 파괴되어 급속히 외부로 나가며 그 과정은 레이저 빔 조사 후 약 20-30 us 이내에 이루어진다. 이러한 것을 각 분자들간의 결합을 중심으로 하여 아래 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

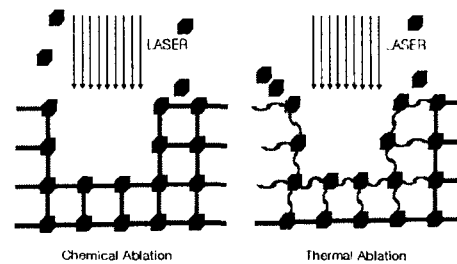


Fig. 1 Chemical and Thermal Ablation

재료별 어블레이션 깊이/펄스는 단위 면적당 에너지밀도에 의해 다르지만, 관통 가공이 아닌 경우 펄스 수에 의해 가공 깊이를 수 um 급 이하로 제어할 수 있어 미세 가공에 유리하다. 또한 동물의 경우 파장이 긴 CO₂(10.6 um)레이저는 반사가 대부분이지만 파장이 짧은 UV에서는 흡수가 일어나므로 열에 의한 미세가공이 가능하다. 이러한 UV 레이저의 특징은 미세 가공에 유리하여 회로 기판 비아홀 가공, 반도체 부품 제작 미세 마킹, 의료용 부품 제작, 프린터 헤드노즐 가공 등 여러 산업분야에 폭넓게 응용되고 있다.

본 연구에서는 DPSSL의 3고조파를 이용하여 여러 산업분야에 응용이 가능한 천공 시스템을 구

성하고, 블라인드 비아 홀 가공을 위한 관련 요소 기술을 확보하는데 초점을 두었다.

2. 실험방법

2.1 실험장비

레이저 천공기 시스템을 위한 기본장비는 다음 Fig. 2 과 같다. PC 내부에 Linear Motor로 만들어진 XY stage 와 DC Motor 를 만들어진 Z 축 을 제어하기 위한 PMAC 모션컨트롤러와 Galvano mirror 로 구성된 Scanner 와 레이저 펄스를 제어하기 위한 컨트롤러를 삽입하였고, 레이저 파워를 조절하면서 연속가공을 하기 위해 시리얼 통신으로 레이저 출력을 제어하였다. 그리고 이 모든 제어기를 제어하기 위한 프로그램을 Visual C++를 이용하여 구성하였다. 그리고 레이저 빔 발생장치는 Coherent 사의 DPSS UV 레이저로 파장 355nm, 빔 모드 TEM₀₀, 펄스 폭 40ns, 빔 직경 2.4mm 로 최대 출력 1.5W 이다.

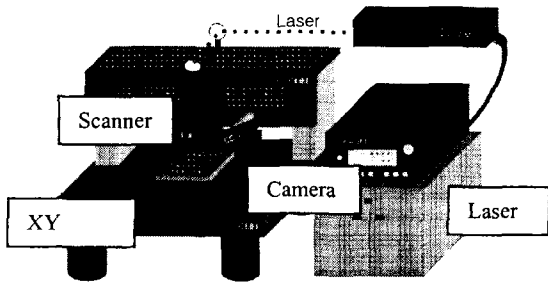


Fig. 2 Laser Ablation System layout

이와 같은 각 장치들을 천공에 응용하기 위해서는 그에 대한 특징을 파악하는 것이 우선이다. 그 중에서도 스캐너의 작동 특징과 레이저 빔의 출력 특성이 가장 고려 되어져야 하며, 그 특징을 살펴 보면 다음 그림 3 와 같이 Laser On/Off delay, Mark delay, Polygon delay 및 Scan Speed 이다.

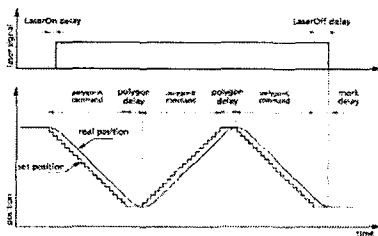


Fig. 3 Relationship between laser control and position of scanner

이와 같은 장비의 특징에 관한 변수들은 제조회사로부터 제공 되어지는 기본 자료를 바탕으로 양호한 가공품질을 얻기 위한 최적 조건들을 실험적으로 구할 수 있었다.

2.2 수행방법

9um 의 Cu 층 사이에 25um 의 PI 층이 있는 다층기판의 블라인드 비아 구멍 가공 프로세스는 Fig. 3 의 (a)와 같이 아르키메데스 스파이럴원 형태로 빔의 이동경로를 만들고, 원의 반경 r , 증분상수 a , 증분각도 θ 라 할 때 이동 경로 수식은 $r = a \times \theta$ 이다. 구리 층의 가공에너지 임계밀도 값과 PI 층 가공 에너지 임계밀도 값이 10 배정도 차이가 있는 것을 이용하여 하나의 장비로 상부의 구리 층을 먼저 가공하고 다시 가공에너지를 낮추어서 하부의 Cu 층에 손상을 주지 않고 PI 층을 제거하는 방법으로 직경 50um 의 홀 가공을 하였다.

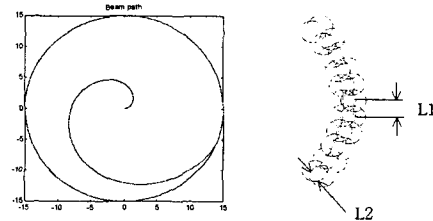


Fig. 4 Beam Path with 50um diameter generated by Archimedes spiral and Beam distance between before and after reflected

이와 같이 가공경로를 결정하고 최적의 가공조건을 결정하기 위해서 빔의 겹침 정도인 L1 과 L2, 레이저의 에너지 및 스캐너 변수의 적절한 조정이 필요하다. 또한 아래 시뮬레이션 에서도 확인 할 수 있듯이 스파이럴 형태로 가공 할 때 가공초기에 많은 빔의 중첩이 생기고 또 에너지 측면에서도 최초에 에너지 강도가 강하므로 가공 시 많은 고려가 필요함을 알 수 있다.

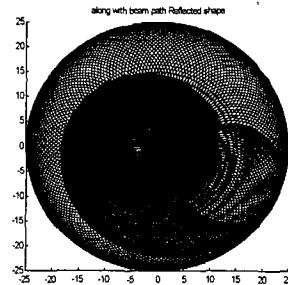


Fig. 5 Simulated beam spot and beam path with condition of $a=2.55$, scan speed 600mm/s, repetition rate 30Khz for 50um hole diameter

3. 실험결과

위에서 설명한 여러 가지 실험 변수 중에서 측정된 빔径의 크기는 20 μm 였으며, 레이저 On delay 는 Fig. 6 (2)에서와 같이 1,000 μs 가 적당했으며, 실험적으로 그 이상일 때는 (1)과 같이 궤적 가공 초기에 가공이 안 되는 부분이 있고, 그 이하 일 때는 시뮬레이션에서와 같이 레이저 빔의 집중이 일어나서 관통이 되어지는 현상이 일어났다. 그리고 Fig. 4 에서 볼 수 있듯이 궤적의 마지막 부분에서는 간격이 좁아지므로 시스템에서 제공하는 최소값을 설정하는 것이 바람직 하였다.

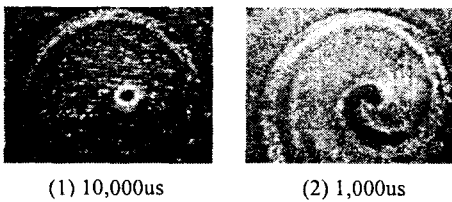


Fig. 6 Beam position at the different laser on delay

펄스 레이저의 경우 아래 Fig. 7 에서 볼 수 있듯이 그 펄스 반복율과 스캐너 속도, 가공출력으로서 밀접한 관계를 가지고 있는데, 그 스캐너 속도와 가공출력에 따른 가공물의 형상을 측정 한 결과는 다음과 같다.

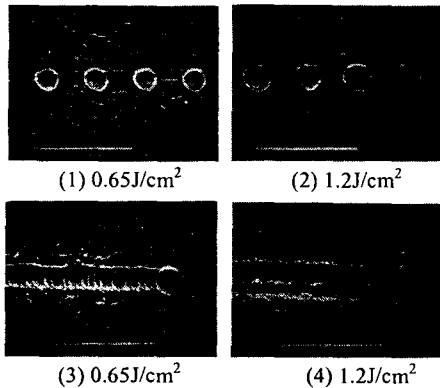


Fig. 7 The Pattern according to the Relationship between laser output power and scan speed with 30Khz pulse repetition rate. (1)(2) is 600mm/sec, (3)(4) is 60mm/sec scan speed

본 실험에서와 같이 두 번의 가공 공정을 거치는 과정에서 첫 번째 공정에서 50 μm 직경의 Cu 층을 가공할 경우 에너지 밀도 측면에서 보면 Fig. 8 에서 와 같이 속도를 600mm/sec 로 했을 때,

0.37J/cm² 일 때는 상부 Cu 층의 가공이 미약한 것을 볼 수 있고, 0.65J/cm² 일 경우에는 하부의 구리 층까지 손상을 주어 궤적의 마지막 부분에서 또는 다음 PI 를 가공할 때 관통의 위험이 있다. 그러므로 상부 Cu 층과 PI 층의 가공은 0.45~0.48J/cm² 일 때 좋은 결과를 볼 수 있었다. 여기서 빔 중첩 간격은 약 20 μm 이다. 이것은 Pulse 레이저에서 준 CW 에 근사하게 하기 위해서 정한 값이다.

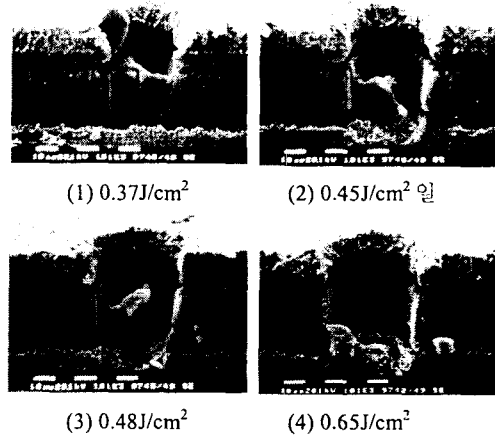
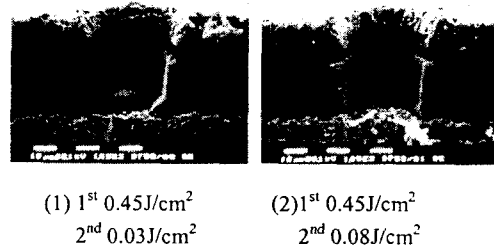
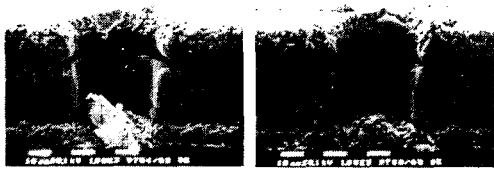


Fig. 8 1st process image with 600mm/sec scan speed and 30Khz repetition rate

여기에 다시 두 번째 공정은 Fig. 9 에서 볼 수 있듯이 아래 Cu 층에 손상을 주지 않는 범위에서 중간 PI 층을 깨끗이 제거하는 것이다. PI 층의 경우에는 에너지 밀도 값이 Cu 층에 비해서 작고, 에너지 밀도 값에 따라 빔 직경이 작아지므로 라인간의 간격을 조절할 필요가 있다. Cu 층을 가공 후 0.08J/cm² 이하에서 PI 를 가공 할 때는 잔유물이 남는 것을 볼 수 있으며, 0.1J/cm² 이상 일 때는 아래 Cu 층에 손상을 주는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 0.08J/cm² 보다 낮은 에너지 영역에서는 빔 겹침 간격을 줄인다 하더라도 Cu 층이 가공되지 않음을 확인 할 수 있었다. 여기서는 초기공정을 0.45J/cm²~0.48J/cm², 두 번째 공정을 0.08J/cm² 부근에서 가공한 것이 가장 좋은 것을 볼 수 있다.





(3) 1st 0.48J/cm²
2nd 0.01J/cm² (4) 1st 0.48J/cm²
2nd 0.08J/cm²

Fig. 9 2nd process image with 600mm/sec scan speed and 30Khz repetition rate

이와 같이 여러 가지 가공 조건에 대한 실험의 결과로 각 변수의 적정한 조건을 설정 후 블라인드 비아 구멍을 가공하였고, 아래 Fig. 10 에 나타내었다.

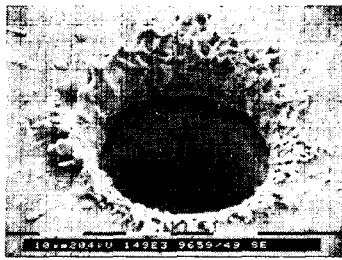


Fig. 10 The SEM of blind of via hole with a diameter of 50 μm

3.1 개발 소프트웨어

본 실험을 위해서 개발된 소프트웨어는 여러 가지 장비를 control board 함께 동기화 제어를 하고, 여러 번의 가공 공정을 한번에 수행할 수 있도록 구성되었다. 특히 사용자 인터페이스를 강화하여 보다 사용자와 친숙하며, 가공 전 시뮬레이션을 할 수 있도록 구성되어있다.

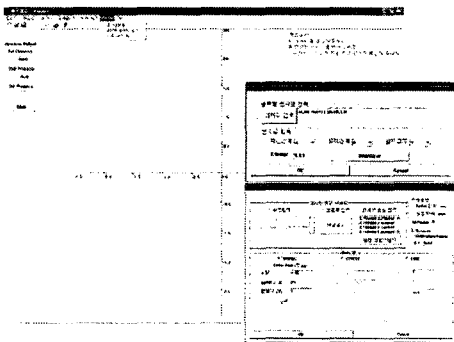


Fig. 11 The development Processing Program

4. 결론

블라인드 비아 구멍을 가공하기 위한 DPSS UV 레이저 가공 시스템을 구성하였고, 단일 레이저에 의해 재질이 다른 각층을 서로 다른 조건에 의해 가공할 수 있음을 확인하였다. 또한 상부의 구리 층을 가공할 경우 펄스 반복율이 30Khz, 스캐너 속도가 600mm/sec, 라인간격이 16μm 인 경우 0.45J/cm²~0.48J/cm² 정도의 조건이 하부의 구리 층에 영향을 미치지 않는 조건이었다. 하부의 PI 층을 가공하기 위해서는 라인간의 간격을 7.5μm 정도로 조밀하게 하여야 하며, 그리고 0.08J/cm² 출력이 하부의 PI 층을 손상시키지 않는 조건이었다.

참고문헌

1. L. Tunna, et al, " Micromachining of using Nd:Yag laser radiation at 1064, 532 and 355nm wavelengths", Optic & Laser Technology 33, 2001, pp 135-143
2. W. W. Duley, "UV Laser : Effect and applications in material science", Cambridge university press, 1996.
3. David J. Elliot, "Ultraviolet Laser Technology and Application", Academic Press, Inc., 1995
4. Corey Dunsy et al, "High Quality Micro via Formation with Imaged UV YAG lasers", Technical Paper, IPC 2000.
5. 김재구, 장원석, 신보성, 황경현, "DPSS UV 레이저를 이용한 다층기판의 블라인드 비아가공", 레이저 가공학회, 2002