

DPSS UV 레이저를 이용한 다층기판의 블라인드 비아 가공

Blind via drilling of multi-layer substrate using DPSS UV laser

한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 김재구, 장원석, 신보성, 장정원, 황경현

I. 서론

마이크로 비아 구멍 가공은 각종 전자제품이 휴대용으로 발전됨에 따라 회로를 좀더 작게 만들기 위한 방법으로 활발히 연구되고 있다. 현재 레이저를 사용하는 대다수의 블라인드 비아 구멍 가공 공정은 에칭을 통해 상층의 구리를 가공한 다음 구리층을 Conformal 마스크로 이용해 파장 10 μm 대역의 CO₂ 레이저를 사용해 하부의 절연층을 가공하는 공정이다. 또 일부에서는 UV로 구리층을 트리페닝으로 가공하고 IR로 편칭형태로 절연층을 가공하기도 한다. 본 블라인드 비아 구멍 가공에서는 에칭공정이 없고 UV나 IR을 동시에 사용하지 않는, UV 하나의 레이저로 금속층 및 절연층을 가공하는 것을 실험적으로 수행하였다. 가공 레이저소스로는 DPSS UV 레이저를 사용하였으며 이 레이저는 기존의 UV를 주로 발생하는 엑시머 레이저에 비해 출력이나 빔의 크기 등에서 단점이 있지만 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높아 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 의해 사용되고 있다.

레이저를 금속에 조사할 경우 UV에 의한 재료가공은 IR에 비해 반사율이 낮아 재료에의 흡수가 상대적으로 많고, 순간적인 열의 집중에 따라 증발에 의한 가공이며 열에 의한 재료의 변형이 가공의 품질을 결정하게 된다. 특히 열전도도가 높은 구리같은 경우 열확산도가 크기 때문에 가능한 한 짧은 펄스의 레이저 조사가 필요하다. 또한 폴리머의 경우 내부분자 결합이 열 영향에 의한 것이라기보다는 광화학 작용에 의해 파괴되어 급속히 외부로 나가며 그 과정은 레이저 빔 조사 후 약 20~30 μs 이내에 이루어진다. 재료별 어블레이션 깊이/펄스는 단위 면적당 에너지에 의해 다르지만 관통가공이 아닌 경우 펄스 수에 의해 가공깊이를 수 μm 급으로 이하로 제어할 수 있으며, 파장이 짧으므로 집속크기를 작게 할 수 있고 마스크 이미지 가공의 경우 분해능을 높일 수 있어 미세가공에 유리하다.

본 실험에서는 DPSS UV 레이저를 사용하여 구리층과 절연층인 PI층으로 구성된 이종재료에 대해 블라인드 비아 구멍 가공 조건을 실험적으로 구하고 이를 이용하여 가공을 수행하였다.

II 실험방법

다층 기판의 재료에 블라인드 비아 구멍을 가공하기 위하여 사용된 재료는 25 μm 두께의 PI 양면에 9 μm 두께의 구리가 얇게 층을 형성한 재료를 사용하였다. 사용된 레이저빔 발생장치는 Coherent사의 DPSS UV 레이저로 파장 355nm, 빔모드 TEM₀₀, 펄스폭 40ns, 빔직경 2.4mm로 최대출력 1.5W이고, 가공 위치를 결정하기 위한 장치로는 Scanlab사의 스캐너 및 리니어 모터로 구성된 XY 및 DC 서보의 Z 스테이지를 이용하였다. 전체적인 시스템은 Fig. 1과 같이 구성 되었으며 각 기구들에 대한 제어 및 가공에 필요한 위치 데이터 생성은 Visual C++를 이용하여 프로그래밍 하였다. 구성된 실험장비로 블라인드 비아 구멍을 가공하기 위해서는 레이저 빔의 경로를 가공 특성을 고려하여 원하는 형상에 맞도록 적절한 조건을 선택하는 것이 필요하다.

본 실험에서 사용한 가공프로세스는 Fig. 2와 같이 아르키메데스의 스파이어럴 형상으로 가공 테이터를 만들고 구리층의 가공 에너지 임계밀도 값과 PI층의 가공 에너지 임계밀도 값이 약 10배정도 차이가 있는 것을 이용하여 하나의 장비로 구리층 및 PI층을 제거하는 방법으로 직경을 100 μm 정도로 하였다. 여기에서 최적의 가공 조건을 결정하기 위하여서는 레이저의 에너지, 레이저 빔 경로 및 스캐너 변수의 적절한 조정이 필요하다.

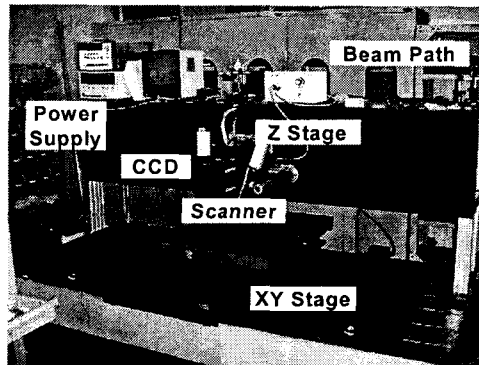


Fig. 1 Photo for micro via hole drilling system

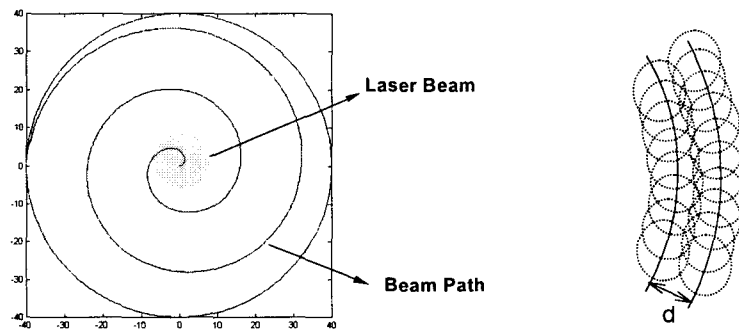


Fig. 2 Beam path generated by Archimedes spiral

III 결과 및 고찰

펄스레이저의 경우 그 펄스 반복율과 스캐너 속도에 따라 다음 Fig. 3과 같은 여러 형태로 나타나며 본 실험과 같이 궤적을 그리는 경우에는 위 변수가 중요한 요소 중의 하나이며 실험에는 펄스 반복율은 레이저의 효율을 고려하여 고정하고 속도를 조정하는 것으로 하여 유사-CW(d)의 빔을 만들어 적용하였다.

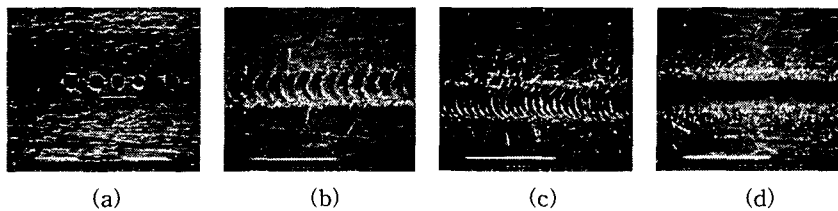


Fig. 3 The pattern according to the relationship of pulse repetition rate(15KHz) and scan speed
 (a) 800mm/sec (b) 200mm/sec (c) 100mm/sec (d) 50mm/sec

1. 스캐너 변수

스캐너는 벡터 방식으로 구동되어지도록 되어 있으며 다음 Fig. 4와 같은 많은 시간 변수에 따라 가공의 형상 및 품질이 많이 달라지므로 조건선정에 주의를 요하는 부분이다. 스캐너 변수를 선정하기 위한 기초 실험의 한 예로서 스파이어럴의 원점에서부터 가공을 시작할 때 Laser On Delay 시간에 따라 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 가공의 형상이 변함을 알 수 있다. 즉 스캐너가 구동되기 시작하고 나서 레이저가 조사되어지는 시간은 $1,000\mu\text{s}$ 가 적정했으며 그 이상일 때는 일부 궤적에 가공이 안 되고 이하일

경우에는 레이저 빔이 집중이 되어 관통이 되어지는 현상을 보였다. 또한 웨지의 마지막 단계에서는 간격이 좁아지므로 가능한 한 Laser Off Delay를 짧게 하는 것이 유리하고 각 벡터를 연결하는 부분에서도 짧게 하는 것이 바람직하였다.

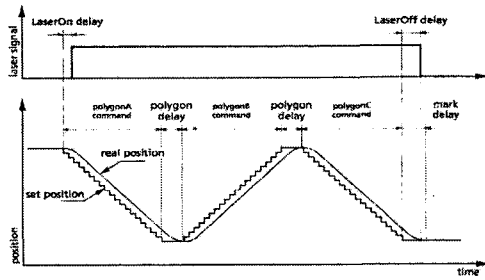


Fig. 4 Scanner parameters of position and time delays

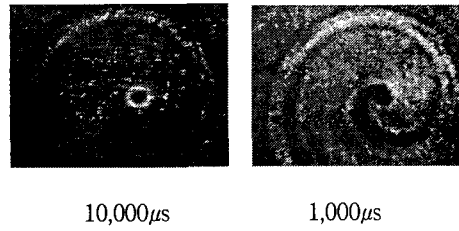


Fig. 5 Beam position at the different laser on delay

2. 웨지 창성 및 가공 조건

블라인드 비아 구멍의 가공은 앞서 기술한 바와 같이 아르키메데스의 스파이어럴 형태로 가공 데이터를 만들었으며 이 때 중요한 값은 원형 형상을 만들기 위한 최소한의 스파이어럴 회전 횟수 및 $\Delta 2\pi$ 후의 라인과 라인의 간격(Fig. 2 d)이며 이들은 상호 관계가 있으므로 레이저 출력을 고려하여 결정하여야 한다. 레이저 빔이 공간적 가우시안 형상을 가지므로 어느 정도의 중첩을 필요로 하나 중첩이 조밀할 경우 가공 하고자 하는 직경에 맞추기 위해서는 빔 경로가 길어지므로 가공이 가능한 범위내에서 간격을 최대한으로 하는 것이 바람직하며 본 실험에서는 빔 직경을 고려하고 몇 번의 실험을 토대로 하여 구리층의 경우 라인간의 간격을 $16\mu\text{m}$ 정도로 정하였다.

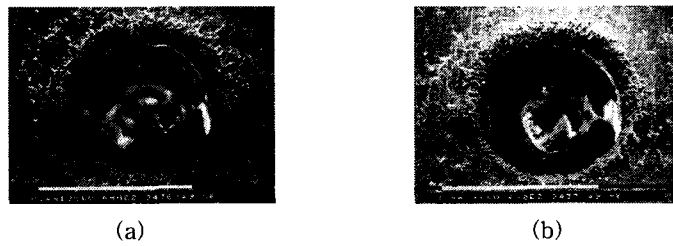


Fig. 6 A comparison of Cu trepanning with the fluence of (a) $5.6\text{J}/\text{cm}^2$ (b) $8.5\text{J}/\text{cm}^2$ at $60\text{mm}/\text{sec}$ scanner speed, 15151Hz and $16\mu\text{m}$ line spacing

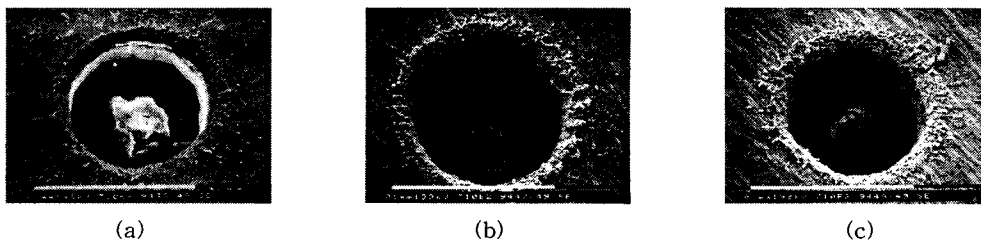


Fig. 7 A comparison of PI trepanning after Cu machining with the condition of (a) $0.64\text{J}/\text{cm}^2$, $16\mu\text{m}$ line spacing (b) $0.64\text{J}/\text{cm}^2$, $8\mu\text{m}$ line spacing (c) $0.4\text{J}/\text{cm}^2$, $8\mu\text{m}$ line spacing at $60\text{mm}/\text{sec}$ scanner speed and 15151Hz

에너지 밀도 측면에서 보면 구리층을 가공할 경우 Fig. 6과 같이 스캐너 속도를 60mm/sec로 했을 때, 8.5J/cm²일 경우에는 하부의 구리층까지 가공이 되어 웨지의 마지막 부근에서 또는 다음 PI를 가공할 때 관통의 위험이 있으며 5.6J/cm²로 가공했을 경우는 하부의 구리층이 가공되지 않고 PI층 내부까지만 가공이 되어 바람직한 조건이라 할 수 있다.

PI층의 경우에는 Fig. 7과 같이 에너지 밀도 값에 따라 또 라인간의 간격에 따라 가공의 유무가 결정됨을 보였다. 구리층을 5.6J/cm²로 가공하고 나서 간격을 구리층일 때와 같이 16 μ m로 했을 경우 0.64J/cm²에서 PI의 잔유물이 일부 남고 관통이 되지 않았지만, 그 이상의 에너지밀도에서는 PI 잔유물이 남아 있는 상태에서 관통이 되고 이하에서는 계속 잔유물이 남아 있는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 0.64J/cm²로 라인의 간격을 8 μ m 정도로 했을 경우에는 PI층이 깨끗이 제거됨을 확인 하였고 낮은 에너지영역에서는 간격을 줄인다 하더라도 PI층이 제거 되지 않음을 관찰 할 수 있었다. 이는 구리층이 가공되지 않는 에너지밀도로 PI층을 가공할 때는 PI층에 대한 가공되어지는 면적이 작아진다고 판단 할 수 있다. 위와 같은 여러 조건에 대한 실험의 결과로 각 변수의 적절한 조건을 설정한 후 블라인드 비아 구멍을 Fig. 8과 같이 가공할 수 있었다.

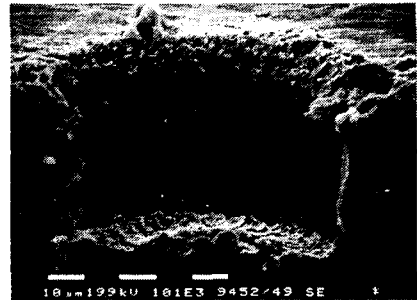


Fig. 8 The Sem of blind via hole with a diameter of 100 μ m

IV 결론

다층기판의 블라인드 비아 구멍을 가공하기 위하여 가공시스템을 구성하고 각 층의 형상 및 가공성에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 블라인드 비아 구멍을 가공하기 위한 DPSS UV 레이저 가공 시스템을 구성하였고, 단일 레이저에 의해 재질이 다른 각층을 다른 조건에 의해 가공할 수 있음을 확인하였다.
2. 상부의 구리층을 가공할 경우 펄스 반복율 15151Hz, 스캐너속도 60mm/sec인 경우 5.6J/cm² 정도의 조건이 하부의 구리층에 영향을 미치지 않는 조건이다.
3. PI층의 가공은 구리층 가공의 약 1/9배정도로 낮은 에너지밀도인 0.64J/cm² 부근에서 PI층의 잔유물이 없는 상태로 하부의 구리층을 관통하지 않고 가공되었으나 구리층 가공의 웨지 중 라인간의 거리는 8 μ m로 하여야 하며 이는 재료에 따라 에너지밀도에 따라 재료의 가공 영역이 다르다는 것을 나타낸다.
4. 다층기판에 최종적으로 직경 100 μ m의 블라인드 비아 구멍을 가공하였다.

V 참고문헌

1. L. Tunna, et al, Micromachining of copper using Nd:YAG laser radiation at 1064, 532, and 355nm wavelengths, Optics & Laser Technology 33, 2001, pp135-143
2. W. W. Duley, UV Lasers : effects and applications in material science, Cambridge university press, 1996
3. Corey Dunskey et al, High Quality Microvia Formation with Imaged UV YAG Lasers, Technical Paper, IPC 2000
4. David J. Elliott, Ultraviolet Laser Technology and Applications, Academic Press, Inc., 1995
5. US Patent, Patent No. 5841099, 11. 1998