

DPSS UV 레이저를 이용한 블라인드 비아 홀 가공

김 재 구 · 장 원 석 · 신 보 성 · 장 정 원 · 황 경 현
한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

Blind Via Hole Drilling Using DPSS UV laser

J. G. Kim, W. S. Chang, B. S. Shin, J. W. Chang and K. H. Whang
Intelligence & Precision Machine Department, Korea Institute of Machinery & Materials

Abstract

Micromachining using the DPSS 3rd Harmonic Laser (355nm) has outstanding advantages as a UV source in comparison with Excimer lasers in various aspects such as maintenance cost, maskless machining, high repetition rate and so on. It also has the greater absorptivity of many materials in contrast to other IR sources.

In this paper, the process for micro-drilling of blind hole in Cu/PI/Cu substrate with the DPSS UV laser and the scanning device is investigated by the experimental methods. It is known that there is a large gap between the ablation threshold of copper and that of PI. We use the Archimedes spiral path for the blind hole with different energy densities to ablate the different material. Finally, the blind via hole of diameter $100\mu\text{m}$ and $50\mu\text{m}$ was drilled.

Keyword : micro drilling, DPSS 355nm laser, multi-layer drilling

1. 서론

마이크로 비아 홀 가공은 각종 전자제품이 휴대용으로 발전됨에 따라 회로를 좀더 작게 만들기 위한 방법으로 활발히 연구되고 있다. 현재 레이저를 사용하는 대다수의 블라인드 (blind) 비아 홀 가공 공정은 에칭을 통해 상층의 Cu를 가공한 다음 Cu층을 Conformal 마스크로 이용해 파장 10 μ m대역의 CO₂ 레이저를 사용해 하부의 절연층을 가공하는 공정이다. 또 일부에서는 UV로 Cu층을 트리패닝 (trepanning)으로 가공하고 IR로 펀칭형태로 절연층을 가공하기도 한다.¹⁻³⁾

기존 UV 레이저 가공으로서는 주로 엑시머 레이저가 사용되어 왔으나 현재는 다이오우드여기 고체레이저(DPSSL)의 발전에 따라 3고조파(355nm)를 이용한 가공이 활발한 추세이다. 이 레이저는 엑시머 레이저에 비해 출력이나 빔의 크기 등에서 단점이 있지만 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높아 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 의해 사용되고 있다.

UV에 의한 금속의 재료가공은 IR에 비해 반사율이 낮아 재료에의 흡수가 상대적으로 많고, 순간적인 열의 집중에 따라 증발에 의한 가공이며 열에 의한 재료의 변형이 가공의 품질을 결정하게 된다.⁴⁾ 특히 PCB등에 많이 사용되어지는 열전도도가 높은 동의 경우 열확산도가 크기 때문에 가능한 한 짧은 펄스의 레이저 조사가 필요하다. 파장에 따른 Cu가공 특성에 관해서는 L. Tunna등이 실험적으로 비교하여 UV의 장점을 기술 하였다.⁵⁾ 또한 다층기판의 절연층으로 사용되는 폴리머의 경우 내부분자 결합이 열 영향에 의한 것이라기 보다는 광 화학 작용에 의해 파괴 (Decomposition)되어 급속히 외부로 나가며 그 과정은 레이저 빔 조사 후 약 20~30 μ s 이내에 이루어진다.⁶⁻⁷⁾ 俊樹등은 CO₂ 레이저에 의한 절연층 재료의 가공 특성을 설명하였다.⁸⁾ 이러한 재료가공의 특성 이외에 UV는

IR에 비해 파장이 짧으므로 집속크기를 작게 할 수 있고 마스크 이미지 가공의 경우 분해능을 높일 수 있어 미세가공에 유리하며, 회로기판 비아 홀 가공, 반도체 부품 제작, 미세마킹, 의료용 부품 제작, 프린터 헤드 노즐 가공 등 여러 산업분야에 폭넓게 응용되고 있다. 본 실험에서는 DPSS UV 레이저를 사용하여 여러 산업분야에 응용이 가능한 친공 시스템을 구성하고, Cu층과 절연층인 PI층으로 구성된 이종재료에 대해 UV 하나의 레이저로 블라인드 비아 홀 가공을 실험적으로 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 실험 시스템 구성 및 재료

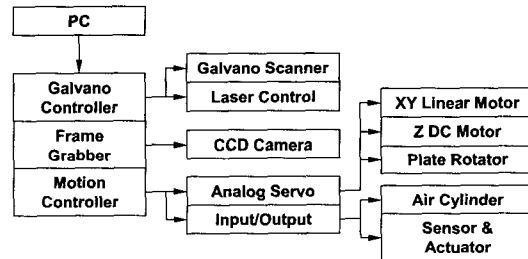


Fig. 1 Block diagram of blind via hole drilling system

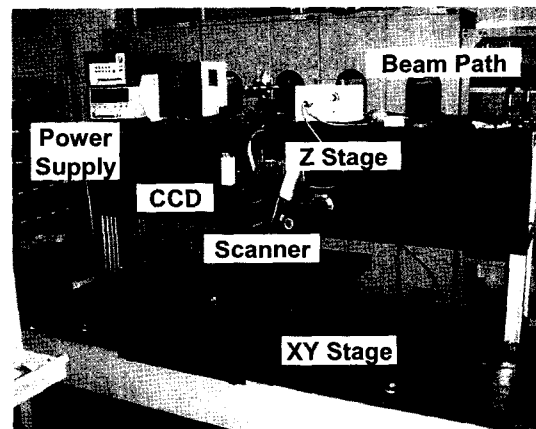


Fig. 2 Photo of system for blind via hole drilling

본 블라인드 비아 홀 가공에 사용된 레이저 빔 발생장치는 Coherent사의 DPSS UV 레이저로 파장 355nm, 빔 모드 TEM₀₀, 펄스폭 40ns, 빔 직경 2.4mm로 최대출력 1.5W이고, 가공 위치를 결정하기 위한 장치로는 Scanlab사의 스캐너 및 리니어 모터로 구성된 XY 및 DC 서보의 Z 스테이지를 이용하였다. 전체적인 시스템의 구성도는 Fig. 1과 같이 PC 내부에 스캐너 컨트롤러, 화상 처리기, 모션 컨트롤러 등을 장착하여 천공에 필요한 모션 제어, 레이저 제어 및 모니터링을 할 수 있도록 하였고, 이를 통합하고 홀 가공에 필요한 데이터를 생성하거나 외부 데이터를 가공에 적용하는 데에는 Visual C++를 이용하여 프로그래밍 하였으며 구성된 장치는 Fig. 2와 같다.

각 장치들을 비아 홀 가공에 응용하기 위해서는 그에 대한 특징을 파악하는 것이 우선이다. 기본적으로는 스캐너의 작동 특성과 레이저 빔의 출력 특성이 가장 고려되어야 하며 스캐너 작동 특성의 경우 다음 Fig. 3과 같이 LaserOn delay, LaserOff delay, Polygon delay 및 스캔 속도가 주요 변수로 적절한 조합이 필요하다. 레이저 빔의 스캐너 투과도는 입사 전, 후의 출력을 측정 한 결과 약 76% 정도로 확인 되었다.

레이저 빔의 경우 펄스 안정성 및 블라인드 비아 홀 가공에 필수적인 출력 변화의 응답성으로 볼 수 있으며 응답성의 측정 결과는 Fig. 4와 같이 응답성은 1초 이내 정도로 확인 할 수 있었고 빔 안정성은 사양의 5%이하에 어느 정도 일치함을 알 수 있었다. 따라서 다음에 기술하는 가공조건 중 가공재질에 따른 출력의 변화를 요할 때는 시간 간격을 약 1초정도로 설정하였다.

다층 기판에 블라인드 비아 홀을 가공하기 위하여 사용된 재료는 25 μ m 두께의 PI 양면에 9 μ m 두께의 Cu가 얇게 층을 형성한 재료를 사용하였으며 그 물성치에 대해서는 다음 표 1에 나타내었다.

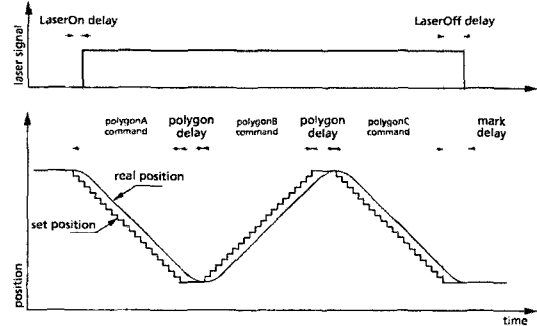


Fig. 3 Relationship between laser control and positions of scanner

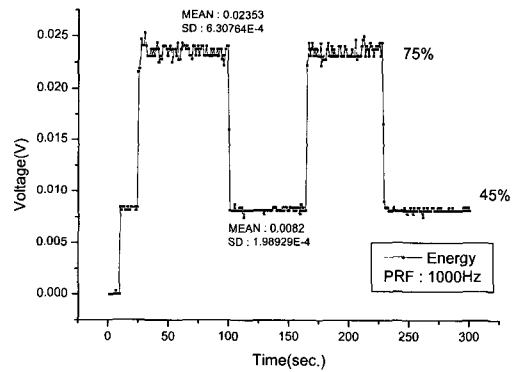


Fig. 4 Beam characteristics of stability and waveform of single pulse

Table 1 Thermo-physical material properties

	Cu	PI
Boiling Point	2567oC	
Latent heat of evaporation	4796J/g	
Melting Point	1083oC	
Latent heat of fusion	205J/g	
Specific heat	385J/kgK	1.09KJ/kgK
Thermal conductivity	401W/mK	0.25W/mK
Density	8.96g/cm3	1.42g/cm3

2.2 레이저 비아 홀 가공실험

비아 홀 가공의 프로세스는 다음을 염두에 두어야 한다. 사용되는 레이저의 발진이 펄스 형태이므로 펄스 반복율과 스캔 속도와의 관계로 인하여 다음 Fig. 5와 같이 펄스 형태의 가공, 준 CW의 가공, CW-like 가공으로 나눌 수 있고 가공하고자 하는 형상에 따라, 또는 가공 특성에 따라 적절히 조절되어야 한다. 실험에서는 이를 고려하여 수차례의 선행 실험을 통하여 $100\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ 의 블라인드 비아 홀을 가공하는데 있어서 CW-like 가공의 조건을 기준으로 하여 최적의 조건을 찾고 또 가공속도를 향상 시키고자 하였다.

본 $100\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ 의 블라인드 비아홀을 가공하는 실험에서 사용한 가공 프로세스는 Fig. 6과 같은 아르키메데스의 스파이어럴 형상을 이용하였으며, 반경 r , 증분상수 a , 증분각도 θ 라고 할 때, 다음 수식 (1)과 같다.

가공데이터를 만들고 Cu 층의 가공 에너지 임계밀도 값과 PI층의 가공에너지 임계밀도 값이 약 10배정도 차이가 나는 것을 이용하여 하나의 장비로 에너지를 조절해서 Cu층 및 PI층을 제거하는 방법을 사용하였다. 선행 실험을 통해 빔 초점직경을 $20\mu\text{m}$ 정도로 하였고, Fig. 7에서의 빔 중심거리(L1)는 레이저 펄스 반복율과 스캔 속도와의 조합으로, 라인간격(L2)은 상수 a 의 값에 의해 결정하며 빔 초점 직경을 고려하여 적절한 중첩이 이루어지도록 하였다.

$$r_i = a \times \theta_i \quad (1)$$

이는 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 범위 내에서 간격을 최대한으로 하는 것이 유리하다는 것을 고려한 것이다.

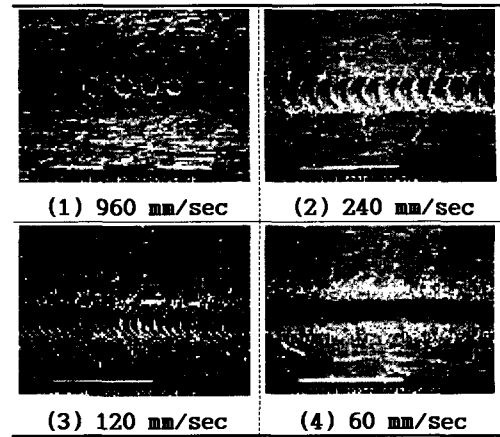


Fig. 5 Laser pattern at the indicated values of scan speed with 15kHz pulse repetition rate

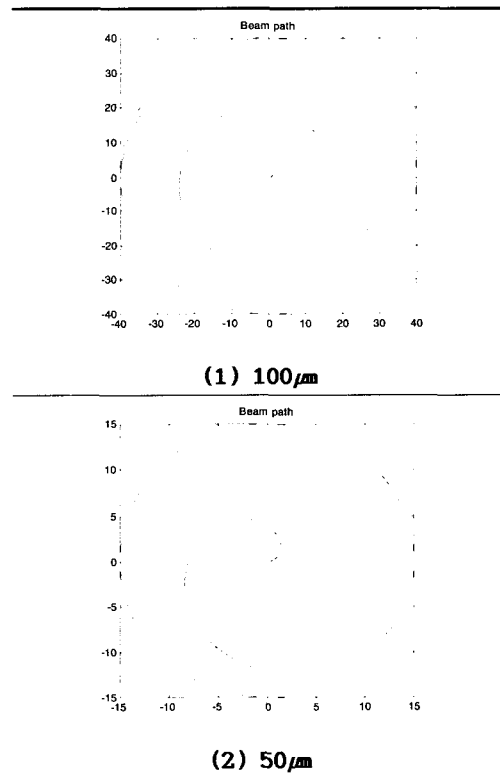


Fig. 6 Beam path generated by Archimedes spiral

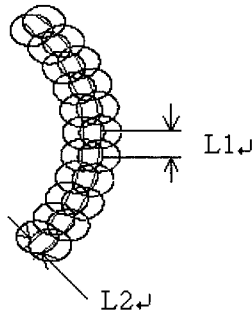


Fig. 7 Beam path with 20 μ m beam spot diameter

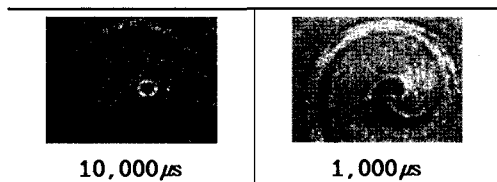


Fig. 8 Beam position at the different Laser on delay

또한 가공경로에서 초기 스파이럴부분에서 겹쳐지는 부분이 많으므로 앞서 기술한 스캐너의 특성 중 LaserOn Delay는 큰 값으로 설정하고, 또 마지막 부분은 정확한 홀 직경을 만들기 위해서 360도를 같은 반경으로 회전을 시켰다. 이때 궤적의 끝부분에서 펄스가 겹치는 부분이 많기 때문에 LaserOff delay는 최소로 하려고 하였다. 이것을 실험을 통해서 얻은 값이 각각 1000 μ s와 시스템에서 제공하는 최소의 값인 2 μ s를 사용하였으며, 이것에 대한 실험 결과 중 LaserOn Delay에 대한 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

블라인드 비아 홀 가공은 앞서 기술한 바와 같이 아르키메데스의 스파이럴 형태로

가공 데이터를 만들었으며, 이때 중요한 값은 원형 형상을 만들기 위한 최소한의 스파이럴 회전 횟수 및 빔 중심 거리(L1)이며 이들은 상호 관계가 있으므로 레이저 출력을 고려하여 결정하여야 한다. 선행 실험으로 결정된 조건으로 계산한 가공 거리 및 시간의 결과를 보면, 100 μ m의 홀을 가공하는 경우, 스캔 속도 60mm/sec, 펄스 반복율 15kHz로 빔 중심 거리(L1)는 4.0 μ m가 되며, 라인간격(L2)을 16.0 μ m으로 하면 경과시간이 9.4msec, 이동거리 570.2 μ m가 되며, 잔유 PI층을 가공하는 경우는 라인간격(L2)을 8 μ m로 하면 경과시간 15.2msec, 이동거리 920.9 μ m로 나타났다.

50 μ m의 홀 직경을 가공하는 경우 스캔 속도는 600mm/sec, 펄스 반복율은 30kHz로 100 μ m의 홀 직경 가공보다 5배의 가공속도를 갖도록 하였다. 이 때의 빔 중심 거리(L1)는 20 μ m가 되고, 라인간격(L2) 16.0 μ m으로 하면 경과시간은 0.236msec, 빔 경로 이동거리는 142.4 μ m가 된다. 잔유 PI 가공공정은 라인간격(L2)을 8 μ m로 하면 경과시간 0.316msec, 이동거리 190.4 μ m로 되었다.

실제의 경과 시간은 가공형상을 부드럽게 하기위한 벡터간의 지연시간이 있으므로 더 길어지게 되며 50 μ m의 홀의 Cu층을 가공하는 경우가 약 11msec정도로 5배정도 크게 나타났다. 위 값들은 실제 실험에서 얻어진 양호한 형상의 블라인드 비아 홀 가공 조건으로 한 것이며, 상층의 Cu를 가공할 때 100 μ m의 직경을 가공하는 조건으로 50 μ m의 홀을 가공하면 시편을 관통하는 현상이 일어나 가공경로 변화에 따른 가공 조건의 변화가 뒤따라야 한다.

100 μ m 직경의 Cu층을 가공할 경우 에너지 밀도 측면에서 보면 Fig. 9와 같이 스캔 속도 60mm/sec, 펄스반복율 15.15kHz로 했을 때, 관통의 경우는 쉽게 확인 할 수 있으므로 높은 에너지영역에서부터 낮은 영역으로 가공실험을 수행한 결과 8.5J/cm²이상의 에너지 밀도에서는 하부의 Cu층이 관통됨을 확인 하였다. 8.5J/cm²일 경우에는 하부의 Cu층까지 가공이

되어 궤적의 마지막 부근에서 또는 다음 PI를 가공할 때 관통의 위험이 있으며 $5.6J/cm^2$ 로 가공했을 경우는 하부의 Cu층이 가공되지 않고 PI층 내부까지만 가공이 되어 바람직한 조건이라 할 수 있고, 이 이하에서의 가공실험은 PI의 잔유층의 많아 PI층을 가공할 때 좀 더 많은 에너지 밀도가 필요하게 되므로 하부의 Cu층이 가공 또는 손상될 수 있는 가능성이 많기 때문에 무의미하다.

PI층의 경우에는 Fig. 10과 같이 에너지 밀도 값에 따라 또 라인간의 간격에 따라 가공의 유무가 결정됨을 보였다. Cu층을 최적조건으로 판단된 $5.6J/cm^2$ 으로 가공하고 나서 라인간격을 Cu층일 때와 같이 $16\mu m$ 로 했을 경우 $0.64J/cm^2$ 에서 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 $0.64J/cm^2$ 로 라인의 간격을 $8\mu m$ 정도로 했을 경우에는 PI층이 깨끗이 제거됨을 확인 하였고 Fig. 10 (c)와 같이 더욱 낮은 에너지영역에서는 간격을 줄인다 하더라도 PI층이 제거 되지 않음을 관찰 할 수 있었다. 이는 Cu층이 가공되지 않는 에너지밀도로 PI층을 가공할 때는, 즉 출력이 작을 경우 재료에 대한 가공크기가 달라져 PI층에 대한 가공되어지는 면적이 작아진다고 판단 할 수 있다.

또한 $50\mu m$ 직경의 Cu층을 가공할 경우는 가공속도를 좀 더 높이기 위해서 스캔 속도를 $600mm/sec$ 의 속도로, 펄스 반복율을 $30kHz$ 로 하여 가공을 하였다. 앞의 $100\mu m$ 의 직경을 가공했던 조건으로 가공을 하면 앞서 기술했듯이 하부 Cu층이 관통이 일어나므로, 새로운 가공 조건을 찾기로 하고 다양한 에너지 대역에서 가공을 수행하였고 몇 가지 가공조건에서 상부의 Cu층을 가공한 결과는 다음 Fig. 11과 같다.

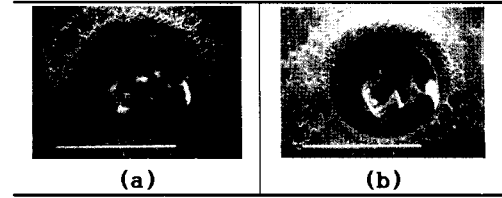


Fig. 9 A comparison of Cu trepanning with the fluence of (a) $5.6J/cm^2$ (b) $8.5J/cm^2$ at $60mm/sec$ scan speed, $15.151kHz$ and $16\mu m$ line spacing

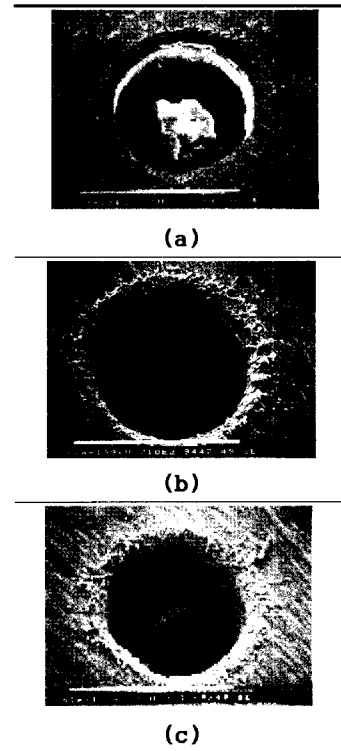


Fig. 10 A comparison of PI trepanning after Cu machining with the condition of (a) $0.64J/cm^2$, $16\mu m$ line spacing (b) $0.64J/cm^2$, $8\mu m$ line spacing (c) $0.4J/cm^2$, $8\mu m$ line spacing at $60mm/sec$ scan speed and $15.151kHz$

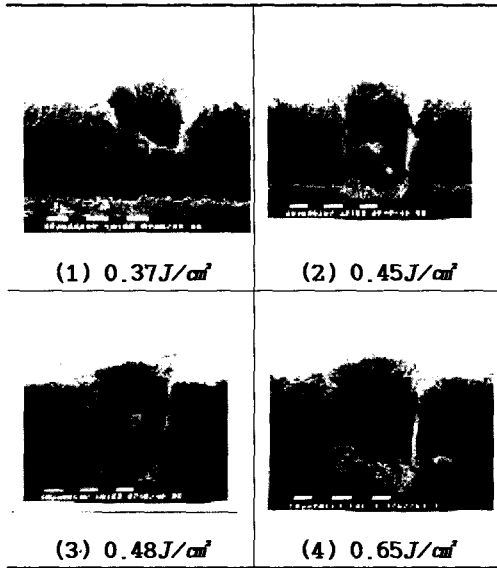


Fig. 11 A comparison of Cu trepanning with 600mm/sec scan speed, 30kHz repetition rate and 16 μ m line spacing

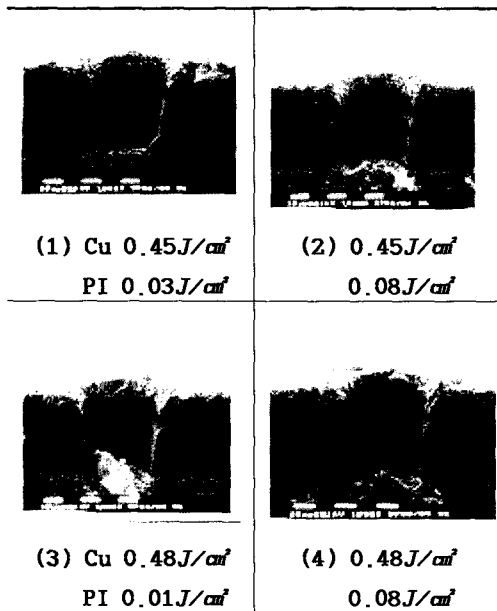


Fig. 12 A comparison of PI trepanning after Cu machining with 600mm/sec scan speed, 30kHz repetition rate and 8 μ m line spacing

Fig. 11의 (1)에서 볼 수 있듯이 0.37J/cm²에서는 Cu 층의 가공이 미흡한 것을 볼 수 있고 0.65J/cm²에서는 마지막 부분에 하부 Cu층까지 손상이 간 것을 볼 수 있다. 그러나 0.45J/cm² ~ 0.48J/cm²에서는 PI층 내부까지 가공이 된 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 (2), (3)의 조건으로 상부 Cu층을 가공한 후 다시 PI층 가공을 위해 출력을 좀 더 낮추고 100 μ m 가공시 얻었던 PI 가공을 위해 라인간의 간격을 다시 8 μ m으로 설정하여 PI 가공을 시도 하였으며 그 결과는 다음 Fig. 12와 같다.

Fig. 12에서 보인 바와 같이 PI층만을 가공하기 위한 조건으로는 0.08J/cm²정도에서 가공하는 것이 양호한 비아 홀을 얻을 수 있는 조건이었으며, 낮은 영역의 에너지밀도에서는 PI의 잔유물이 남고, 높은 영역의 에너지밀도에서는 하부의 Cu층이 가공되어 관통됨을 확인하였다. 스캔 속도와 펄스 반복율에 의한 계산으로 보면 위 조건은 펄스이동 방향으로 중첩이 없으나 실제로는 벡터방식으로 동작되는 스캐너의 움직임시 Polygon Delay에 의해 중첩되어지는 부분이 있으며 전 가공공정 시간은 거의 Polygon Delay 변수에 의해 좌우됨을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 실험을 통해서 블라인드 비아 홀을 가공하기 위한 DPSS UV 레이저 가공 시스템을 구성하였고, 단일 레이저에 의해 재질이 다른 각층을 다른 조건에 의해 가공할 수 있음을 확인하였다.

또한 상부의 Cu 층을 가공할 경우 펄스 반복율이 15.15kHz, 스캔 속도가 60mm/sec 인 경우 5.6J/cm²정도의 조건이. 하부의 Cu층에 영향을 미치지 않는 조건이었고, 가공 속도를 높인 50 μ m 비아 홀 가공시에는 스캔 속도를

600mm/sec로 하고 펄스 반복율을 30kHz로 할 경우 $0.45J/cm^2 \sim 0.48J/cm^2$ 정도의 조건이 하부의 Cu층에 영향을 미치지 않는 조건이었다. 절연층인 PI층을 가공하기 위해서는 라인 간의 간격을 좀 더 조밀하게 하여야 하며 100 μm 의 홀의 경우 $0.6J/cm^2$, 50 μm 의 홀의 경우 $0.08J/cm^2$ 이 하부의 Cu층을 손상시키지 않는 실험적 조건이었다.

여기서 같은 물질을 가공하더라도 블라인드 비아 홀의 직경에 따라 가공에 필요한 에너지, 스캔 속도와 펄스 반복율에 따른 펄스 이동속도 등이 동일하지 않고 다르다는 것을 확인 하였으며 그에 대한 분석은 좀 더 연구가 필요하리라 생각된다.

8. 廣垣 俊樹, レーザ加工によるプリント基板のブラインドバイアホールの特性, J. Soc. Mat. Sci. Japan, Vol. 48, No. 5, 1999, pp467-472

참고문헌

1. 荒井邦夫, レーザによるプリント基板の微細加工技術, 表面技術, Vol. 49, No. 9, 1995, pp804-808
2. Jim Morrison, et al, TEA CO₂ Laser Micro Via Fabrication in Standard and Emerging PWB Dielectrics, IPC Printed Circuits Expo, 1997
3. Sudhakar Raman, et al, UV Laser Drilling of Multilayer Blind Vias, IPC Printed Circuits Expo, 1998
4. W. W. Duley, UV Lasers : effects and applications in material science, Cambridge university press, 1996
5. 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
6. John C. Miller, Laser Ablation : Principles and Applications, Springer-Verlag, 1994
7. David J. Elliott, Ultraviolet Laser Technology and Applications, Academic Press, Inc., 1995