

◆ 특집 ◆ 신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템

나노초 펄스폭을 갖는 자외선 레이저를 이용한 전자회로기판의 저항체 트리밍과 절단공정 특성에 관한 연구

Study of Laser Trimming and Cutting of Printed Circuit Board by using UV Laser with Nanosecond Pulse Width

류광현¹, 신석훈¹, 박형찬¹, 남기중^{1,✉}, 권남익²
Kwang Hyun Ryu¹, Suk Hoon Shin¹, Hyeong Chan Park¹, Gi Jung Nam^{1,✉} and Nam Ic Kwon²¹ ㈜젯텍 기술연구소 (R&D center of Jettech, LTD.)² 한국외국어대학교 물리학과 (Physics, Hankuk University of Foreign Studies)

✉ Corresponding author: ginam@jettech.co.kr, Tel: 032-510-3320

Manuscript received: 2010.8.10 / Accepted: 2010.8.18

Resistance trimming and cutting processes of printed circuit board by making use of high power UV laser with nano-second pulse width have been proposed and investigated experimentally. Also laser-based application system with high flexibility and complex has been designed and adopted power controller, auto beam size control, auto-focusing and control program developed for ourselves. The function of each module shows that they can be reliable for industrial equipments. Resistance trimming method used a plunge and double cut process with 20 μm spot size beam. Results show that double cut process is more effective to control resistance trimming in precision than plunge cut process.

Key Words: Laser Trimming (레이저 트리밍), Printed Circuit Board (인쇄회로기판), UV DPSS Nanosecond Pulsed Laser (자외선 나노초 다이오드 여기 고체레이저), Laser Cutting (레이저 절단)

기호설명

 d_0 : spot beam diameter (mm) M^2 : beam quality value λ : laser wavelength (nm) f : focal length of objective lens (mm) D_0 : beam diameter of input beam

1. 서론

휴대폰, 디스플레이, 노트북 등 전자기기 산업에서 차세대 고부가 PCB(MLB, HDI, FPC, 등) 및

고기능 PCB(COF, MOF, SOF, 등)의 급속한 적용 확대로 기술적 대응이 가능한 초정밀/초고속 레이저 절단, 제거, 트리밍(trimming), 리페어(repair), 스트럭처링(structuring) 등의 복합/유연 공정 및 장비기술 개발에 대한 시장의 요구가 급증하고 있다. 이로 인해 장비 운영의 효율성 극대화 및 설비 투자의 최소화를 위해 단일 장비로 절단(half cut, full cut), 제거, 트리밍, 리페어, 스트럭처링 공정 등을 수행할 수 있는 장비 및 공정 기술 개발이 필수적이다. 이러한 요구에 부합하기 위해 단일 장비로 이러한 기술이 가능하도록 광학 설계 및 공정 기술을 확립하고 이 기술을 접목시킨 장비를 설계하

였다.^{1,2}

인쇄회로기판(PCB; Printed Circuit Board)이란 절연체위에 전기에 대한 전도성이 뛰어난 도체회로를 형성하여 만든 전자부품의 하나이다. 최근 전자부품산업의 급속한 발전에 따라 PCB 는 전자제품의 소형화, 고밀도화, 굴곡성 있는 디자인으로의 하고 있다. 이러한 제품의 수요가 급증함에 따라 경량화, 박막화, 고집적화와 복잡한 형상을 요구 받고 있으며, 이러한 제품의 가공을 하기 위해 복합/유연 가공 기능이 요구되고 있어, 기존의 기계적 절단 기술의 문제점을 극복하고 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 절단 기술과 리페어, 트리밍, 스트러처링까지 가능한 공정 기술 및 장비의 개발이 요구되고 있다.

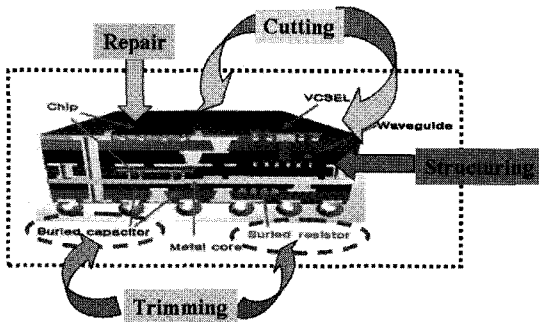


Fig. 1 Next generation PCB with high flexibility and complexity

트리밍 기술은 집적회로와 같은 미소전자회로에 박막(수백 Å-1μm 내외) 혹은 후막(10-25μm 내외)으로 된 수 개 이상의 저항소자를 포함하고 있으며, 이들 저항체는 보통 수 % 이내의 공차를 가지도록 저항 값의 조정이 필요하다. 일반적으로 박막저항은 PCB 상에 저항체 페이스트를 프린트하여 저항패턴을 만든다. 이러한 제조공정으로 얻을 수 있는 저항체의 정밀도는 ±10%정도 이상을 얻기 힘들다. 그러나 일반적으로 요구되는 허용치는 ±1% 이내이므로 이들 저항체를 제조한 후 조정을 하여야 한다.

저항체의 조정은 후막의 경우에는 다이아몬드 휠을 사용하였으며, 박막의 경우에는 CO₂ 레이저나 Nd:YAG(532nm)레이저 등을 이용하였다. 박막의 정확한 절단과 작은 절단 폭을 위해서는 레이저 빔의 파장이 짧은 것이 바람직하고, 파장이 짧을수록 금속에 흡수가 잘 되므로 주파수를 변조시

킨 레이저를 사용한다. 짧은 펄스길이를 가지는 고출력의 레이저 빔으로 저항체를 증발시키는 트리밍 작업을 수행하면 가공 폭이 작아 미소한 저항패턴의 트리밍이 가능하다. 또한, 열영향부(HAZ; Heat Affected Zone)가 적어 열에 민감한 인접구역으로 전파되는 열량을 억제시켜 주위의 손상을 억제시킬 수 있다.^{3,5}

저항체의 정확한 가공을 위해서는 레이저 가공 변수 즉, 레이저 종류 및 출력, 빔크기 그리고 가공 주파수 등이 매우 중요한 역할을 하게 된다.^{6,7}

레이저 절단 기술은 기존의 기계적 절단 기술의 문제점을 극복하고 가공 정밀도를 향상시킬 수 있다. 기존의 기계적 절단 기술은 연성(flexible) 인쇄회로기판(FPCB)의 낮은 기계적 강도와 구조적 복잡성으로 인해 기존의 CNC 또는 금형을 이용한 절단 공정에서 문제점을 야기하고 있다. 특히 제품의 다양성으로 인한 금형/목형의 설계비용이 증가되며, FPCB의 얇고 낮은 기계적 강도로 인한 칩핑(chipping), 크랙(crack)의 발생으로 제품의 불량률을 높이는 원인이 되고 있다. 이에 기존의 기계적 절단기술의 문제점을 극복하고 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 절단 공정기술의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 파장이 짧은 자외선 펄스 레이저를 이용한 저항체 트리밍과 다층기판에 대한 공정 기초 실험을 통해 최적의 가공 조건과 가공 특성에 대해 알아보려고 한다.

2. 시스템 및 실험 조건

2.1 시스템

실험에 사용된 레이저는 자외선 펄스 레이저로 최대 출력이 20W 이고, 파장은 355nm 이며 펄스 반복률은 250kHz 까지 조절 가능하다. 가공은 스캐너를 이용하여 레이저 빔의 위치와 속도를 제어하였으며 가공 범위는 70mm × 70mm 이고, 최대 2m/sec의 속도로 제어한다. F-theta lens 를 이용하여 가공 영역 내에 레이저 빔의 스폿(spot)을 20μm 로 일정하게 구현하였고, 레이저의 출력 변화는 빔감쇠기를 통하여 광 투과량을 조절하여 제어하였다.

Fig. 2 는 실험에 사용된 시스템과 레이저 빔의 경로를 나타낸 도식도이다.

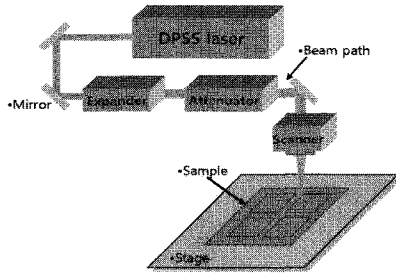


Fig. 2 Schema of experimental set-up

2.2 광학계 및 제어 프로그램

2.2.1 Laser Power Controller

레이저의 출력을 조절하기 위해서는 레이저 소스의 공진기의 매질에 공급되는 전자의 양을 줄이는 방법인 펄스광의 출력을 줄여주는 방법이 있다. 이는 DPSS(diode-pumped solid-state) 레이저 소스에서 펄스 소스로 사용되는 다이오드의 입력 전류를 조절함으로써 가능하다. 이러한 방법은 출력되어 나오는 레이저 빔의 특성을 바꾸는 요인이 되기 때문에 일정한 광특성을 요구하는 가공에서는 사용하기 어렵다. 그래서 안정적으로 출력된 레이저 빔의 경로에서 광학적 소자를 이용하여 레이저 빔의 출력을 조절하는 방법을 택하였다. 이에 레이저 출력의 크기를 조절하기 위하여 출력 제어기를 설계 및 제작하였다.

레이저 출력 제어기(laser power controller)의 원리는 레이저가 하나의 편광을 가지고 있는 편광빔이기 때문에 편광성을 이용하여 편광된 레이저 빔을 HWP(1/2 람다 플레이트)에 편광축과 HWP의 축과의 각도를 변화하며 투과하게 하여 편광 방향을 바꾸게 하였다. 이후에 편광판을 투과하여 선택적으로 한 방향 성분의 빔만을 투과시켜 레이저 빔의 출력을 변화시킬 수 있다.

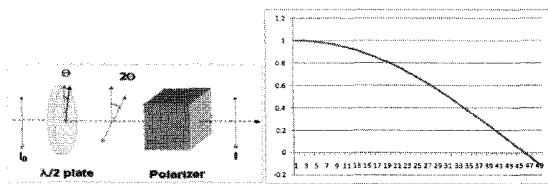


Fig. 3 Schema of power controller and power change with HWP angle

일반적인 펄스 레이저는 각각의 펄스 간의 침투 출력의 변화가 있다. 실험에 사용된 레이저의 경우 5%정도의 출력변화가 측정되었다. 이에 안정

적인 출력을 피하고자 출력 제어기에 출력 모니터 기능을 추가하여 펄스의 변화량을 측정하여 HWP의 각도에 피드백 동작을 하여 펄스 레이저의 출력 안정하고자 하였다.

편광판에서 확산되어 나오는 빔의 광량을 포토다이오드를 통하여 검출하여 전류값을 전압값으로 변환시키고 반아진 아날로그 값을 디지털값으로 전환하여 PID 회로를 통하여 설정된 값을 헌팅하여 찾아가는 방식으로 구성하였다.

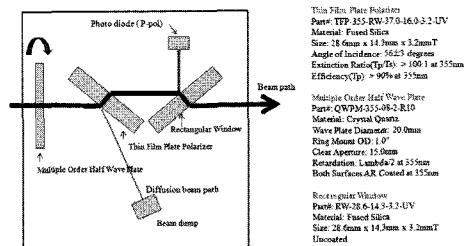


Fig. 4 Schema of power controller optic

2.2.2 Beam Expander

가공 단에서의 레이저 빔의 크기는 식 (1)과 같이 변수인 레이저의 파장과 집속(objective) 렌즈의 초점 길이와 렌즈에 입사되는 빔의 직경이 영향을 주게 된다. 장비의 제작을 하였을 때 레이저의 파장과 렌즈의 초점거리의 값을 쉽게 바꿀 수 없기 때문에 일반적으로 렌즈에 입사되는 빔의 직경의 값을 변화하여 가공 점에서의 초점의 크기를 바꾸려고 한다.

$$d_0 = 4M^2 \frac{\lambda f}{\pi D_0} \tag{1}$$

2.2.3 자동초점정렬(Auto Focusing)

정확하고 빠른 자재를 정렬(align)하기 위해서는 입력되는 이미지가 선명해야 한다. 초점 심도가 매우 짧은 렌즈를 사용하기 때문에 렌즈에서 물체까지의 거리가 10-20μm 변해도 이미지는 선명하지 못하다. 자재 전체 영역에서 높이 변화량은 10-20μm 보다 크다. 그러므로 선명한 이미지를 얻기 위해 자재 위의 높이를 알아야 한다. 이러한 이유로 자재 위의 높이를 측정하는 별도의 센서를 설치하는 경우가 대부분이다. 주로 비 접촉식 거리 센서를 많이 사용하나 가격이 비싸다. 별도의 센서 없이 이미지 처리 기술로 자재 위의 높이를 측정하고자 한다. 이를 위해 자동초점정렬 기술을

사용한다.

자동초점정렬이란 이미지를 가장 선명하게 만들도록 렌즈 파라미터를 자동으로 조정하는 것이다. 자동초점정렬의 목적은 물체까지의 거리 정보를 얻고 선명한 이미지를 얻는 것이다. 카메라를 위아래로 움직이며 이미지가 가장 선명한 위치를 찾는다. 일반적으로 machine vision 에서는 연산량을 고려하여 intensity 의 1 차 미분치를 선명도로 많이 사용한다. intensity 의 1 차 미분치를 이용하여 물체의 경계부분과 배경 사이의 선명도를 알 수 있다.

$$\text{선명도}(F) = \sum \sum |\Delta I| \text{ or } F = \sum \sum |\Delta I|^2 \quad (2)$$

자동초점정렬의 정밀도를 높이고 처리시간을 단축하기 위해 2 단계로 수행한다. 첫 번째 단계로 자재의 단위 이동 거리를 25 μm 로 하여 대략적인 선명도 함수를 구한다. 이렇게 해서 얻은 결과로부터 초점이 맞는 대략적인 위치를 구한다. 두 번째로 첫 번째 단계에서 찾은 초점 위치 근처에서 자재의 단위 이동 거리를 5 μm 로 하여 세밀하게 선명도를 구한다.



Fig. 5 Alignment results after (left) and before (right) auto-focusing

3. 실험

3.1 Laser Trimming

Fig. 6 은 본 실험에 사용된 저항체의 샘플과 구조를 나타내었다. 다층구조의 PCB 상에 저항체인 carbon 을 프린트한 저항패턴의 구조이며, 샘플의 두께는 121.5 μm 이며, carbon 의 두께는 20 μm 이다.

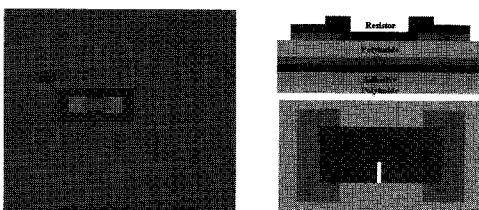


Fig. 6 Sample for trimming test

본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 트리밍 방법인 plunge cut 과 double cut 을 이용하였으며, 가공한 후 절단면의 측정은 3 차원 측정이 가능한 광학현미경(Keyence, VH-Z500R)을 사용하였다.

Fig. 7 에서 본 연구에서 이용한 트리밍 방법인 plunge cut 과 double cut 에 대한 도식도를 나타내었다. 저항체의 폭은 400 μm 이며 저항체의 가운데를 중심으로 가공을 하였다.

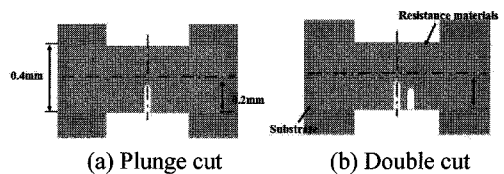


Fig. 7 Trimming methods by using laser

가공속도와 중첩률은 각 400mm/s, 80%으로 고정을 한 후 출력을 2W 씩 증가시키면서 저항체를 가공하는 기초실험을 진행하였다. Fig. 8 은 출력에 대한 가공폭의 변화에 대한 그래프이다. 각각의 가공폭과 가공깊이를 측정된 결과 절단면에 HAZ 없이 깨끗하게 가공이 되었으며, 약 12W 일 때 가공 폭은 대략 28 μm 이고, 가공 깊이는 20 μm 으로 측정이 되었다. 본 실험에서 사용한 저항체 carbon 의 높이가 20 μm 임으로 12W 일 때 substrate 가 손상(damage)를 받지 않고 가공 할 수 있는 최적 출력임을 알 수 있다.

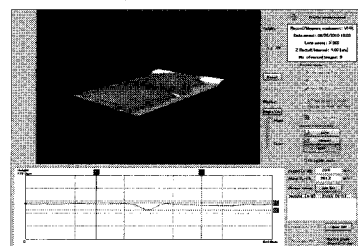
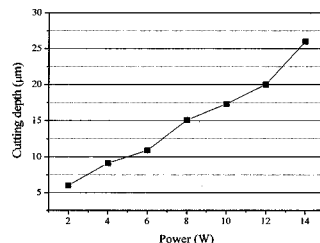


Fig. 8 Cutting depth with respect to power

Fig. 9는 12W, 400mm/s, 중첩률 80%의 실험조건으로 동일한 가공길에서 plunge cut과 double cut의 결과이다. plunge cut은 절단면이 늘어나면서 저항 값이 급격하게 상승하면서 오차 값 또한 크게 발생하는 것을 알 수 있고, 이에 반해 double cut 가공은 plunge cut에 비해 저항 값은 소폭으로 상승하였으나, 오차 값이 적게 발생하면서 상승하는 것을 알 수 있다. 이에 따라 정밀한 저항 값을 요구하는 경우 plunge cut 보단 double cut으로 트리밍을 하는 것이 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

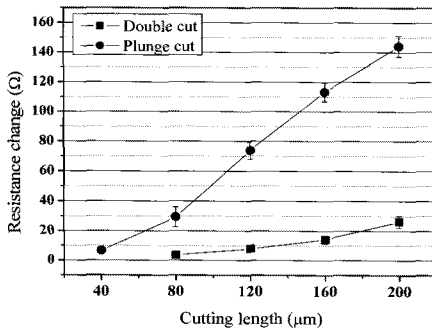


Fig. 9 Resistance change with respect to cutting length: 500Ω resistor

3.2 Laser Cutting

본 연구에서 사용된 다층기판은 두께가 0.134mm이며, FCCL을 기준으로 coverlay가 양면으로 있는 2 layer의 구조를 가지고 있으며, 각 구조 및 사양은 아래 Fig. 10에 나타내었다.

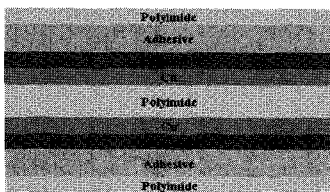


Fig. 10 Structure of 2 layer FPCB

다층기판에 30mm x 30mm의 사각형 형상을 가공하였으며, 가공속도는 90mm/s로 고정한 뒤, 출력 8W에서 중첩률을 변화시키며 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 중첩률이 증가할수록 가공 폭과 오염 폭이 상승하였으며, 90% 미만에서는 완전히 가공이 되지 않았다. 그리고 중첩률 60%

이상에서 오염 폭이 급격하게 상승하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 중첩률이 증가하면서 레이저의 단위 면적당 에너지 밀도가 증가했기 때문에 열적 변형에 의해 오염 폭이 크게 확산된 것으로 판단된다.

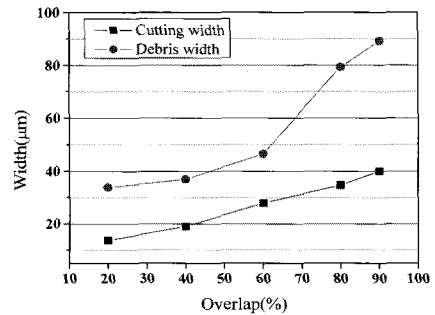


Fig. 11 Cutting and debris width respect to overlap of laser; laser power 8W, overlap 20-90%

Fig. 12는 오염 폭이 급격하게 상승하는 중첩률 60% 이상인 지점에서의 가공 단면들이다. 중첩률 60%, 80% 지점에서 가공 깊이가 각각 49μm, 60μm로 측정되었다고 하며, 중첩률 90%에서는 full cut이 되는 것을 확인하였다.

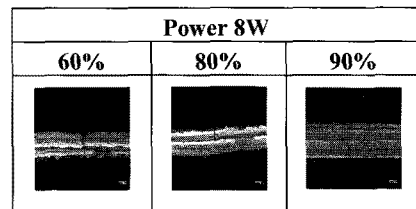


Fig. 12 Microscope images of cross section of FPCB about overlap

선행 실험에서 나온 결과를 토대로 full cut이 되는 조건인 출력 8W, 중첩률 90%에서 중첩률은 90%로 고정시킨 뒤, 2-14W 출력 범위에서 출력에 따른 다층기판의 가공특성을 확인하였다.

Fig. 13은 각각의 출력에서 다층기판의 가공 폭과 가공 깊이를 측정된 결과이다. 출력이 증가함에 따라 가공 깊이와 가공 폭이 증가하였으며, 8W 이상에서는 full cut이 되었다. Full cut이 되기 시작한 8W에서의 가공 폭은 약 40μm이고, 8W 이후부터는 가공 폭이 상승한 뒤, 10W 이상에서는 가공 폭이 큰 변화가 없는 것을 확인하였다.

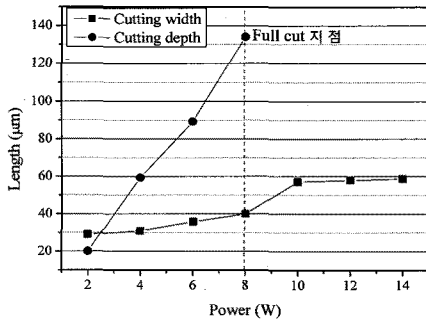


Fig. 13 Cutting width and depth about laser power

Fig. 14 는 full cut 이 된 시료의 단면 사진이다. 8W 이후부터는 가운데 PI 층을 기준으로 위 층이 열적 변형으로 인해 물성이 변한 것을 확인할 수 있으며, 이는 가공표면이 높은 출력에 의한 열 변형 때문에 가공 폭이 상승함을 알 수 있다.

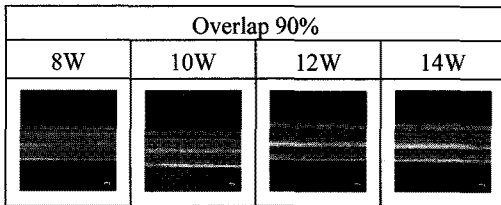


Fig. 14 Microscope image of cross section of FPCB after full cut about laser power; overlap 90%, laser power 8-14W

4. 결론

레이저 트리밍 및 절단을 하기 위하여 근자외선 나노초 펄스 레이저를 이용하여 실험을 수행하였으며, 복합/유연 가공 기술에 대응할 수 있는 시스템을 설계하였다. UV DPSS 레이저를 이용하여 저항체를 트리밍한 결과 절단면의 과열 영역이 없이 가공이 되었고, plunge cut 은 큰 저항 조절을 할 경우 유리하며, 정밀한 저항의 조절이 필요한 경우에는 double cut 이 적합하다는 것을 도출해 낼 수 있었다. 또한, FPCB 의 절단의 경우 중첩률 90%에서 레이저 출력이 8W 이상일 경우 full cut 이 됨을 알 수 있었고, full cut 이 되기 시작하는 조건 이상의 에너지로 가공할 경우 가공 폭은 변화가 없지만 오염 폭이 크게 상승함을 알 수 있었다. 그렇기 때문에 필요 이상의 에너지가 들어가지 않도록 최적의 공정 조건을 찾는 것이 중요하다.

후 기

본 논문은 지식경제부 “차세대 초정밀/초고속 레이저 복합/유연 가공 기술 개발” 과제(과제번호 : 10033796)의 지원으로 작성되었습니다.

참고문헌

1. Bae, H. S., Ryu, K. H. and Nam, G. J., “Study of Laser Machining Properties about Raw Material FPCB,” Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 379-380, 2008.
2. Bae, H. S., Choi, J. H., Ryu, K. H. and Nam, G. J., “Study of Machining Properties about FPCB with using UV DPSS Laser,” Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 417-418, 2009.
3. Meunier, M., Gagnon, Y., Savaria, Y., Lacourse, A. and Cadotte, M., “A novel laser trimming technique for microelectronics,” Applied Surface Science, Vol. 186, No. 1-4, pp. 52-56, 2002.
4. Noh, S. S., Seo, J. H., Chung, G. S. and Kim, K. H., “Fabrication and analysis of characteristics of PRT using high-fine laser trimming technology,” Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 46-52, 2003.
5. Kim, D. H., “Laser materials processing,” kyungmoon, 2005.
6. Aslam, M. and Mirza, J. A., “Thick film technology and its application in telecommunication system,” COMSATS, Vol. 2, No. 4, 1997.
7. Chang, W. S., Kim, J. G., Yoon, K. K., Shin, B. S., Choi, D. S. and Whang, K. H., “A Study on UV Laser Ablation for Micromachining of PCB Type Substrate,” Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 887-890, 2001.