

나노초 및 피코초 레이저를 이용한 FPCB의 절단특성 분석

본 논문에서는 레이저 가공의 문제점인 FPCB에서의 낮은 생산성과 열영향을 보완하기 위한 실험내용을 다루고 있으며 극초단펄스 레이저와 나노초 UV레이저를 이용하여 FPCB의 기판재료인 FCCL(Flexible Copper Clad Laminate)를 절단하며 생산성 및 열영향을 비교하고 있다. 나노초 레이저는 피코초 레이저의 경우에 비해 가공속도가 빨라 양산공정에 적합하며 피코초 레이저는 나노초 레이저에 비해 용융물이 적게 발생하여 다층/고집적화에 적합하나 출력이 낮은 단점이 있어 현단계에서의 양산가공으로의 적용이 어렵다는 결론이다. 그러나 여러 선도 업체에서 극초단 펄스레이저의 고출력화에 대한 시도가 이뤄지고 있으므로 생산성의 문제는 빠른 시일 내에 해결된 것으로 판단된다.

글/신동식 · 이제훈 · 손현기 · 백병만(한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부)

1. 서 론

FPCB(Flexible Printed Circuit Board)는 필름, 노광, 현상, 에칭, 박리, 가집 및 도금 등의 공정 후 타발공정을 통하여 최종적으로 절단이 된다. 현재 대부분의 타발공정은 금형에 의한 타발공정으로서 Punch와 Die를 이용한 Bridge형 금형 및 전단 방식의 절단 금형을 사용하고 있다.

기호 설명

λ = 파장(nm)	ϕ = 초점크기(μ m)
E_u = 단위길이당 주입에너지(J/mm)	
Pave = 평균출력(W)	Rep. = 펄스 반복율(Hz)
v = 빔 조사속도(mm/s)	
t = 단위길이당 절단시간(s · cycles/mm)	
N = 절단에 필요한 조사회수(cycles)	
D_p = 펄스폭(ps, ns)	

Table 1은 금형공정과 레이저 가공공정을 비교한 지표로서 기존의 금형공정은 레이저 가공공정에 비해 높은 생산성을 가지는 장점이 있으나 절단면이 거칠고, 필름이 찢어지는 현상이 발생하며, 접속단자에서 크랙 등의 현상이 발생하는 등 정밀도에 한계가 노출되어 전자 제품의 소형화 및 슬림화 추세에 부응하기 어려운 단점이 있다.¹⁻⁴⁾

반면 레이저 가공공정은 단공정으로서 간편하여 다품종 소량 생산의 추세에 부합되며 정밀가공이 가능하여 소형화 및 슬림화 추세에 적합한 장점이 있지만, 이는 적정 레이저 변수를 선정하여 최적의 가공품질을 달성했을 경우에 한정한다. 즉, 공정 최적화가 이루어지지 않았을 경우 Surface debris 및 단락현상(절단면의 용착 및 열반응에 의한) 등의 문제가 발생할 수 있어 메커니즘의 이해를 통해 상기 결함을 최소화 할 수 있는 공정의 개발이 필요하다.⁵⁻⁸⁾ 이러한 단점은 Table 2에서 보여주는 바

Table 1. Punching and laser cutting process of FPCB.

Process	Punching process	Laser cutting
mass productivity	High(500-600 punching/hr)	low
flexibility (production)	Low (design > 2 days, > 10,000\$)	High (design (several hours))
process	two steps or several steps	single step
limitation	- coarse cutting edge - delamination on film - crack on the terminal - low accuracy ($\pm 0.1\text{mm}$)	- surface debris - electronic short - low productivity

Table 2. Quality and productivity in laser cutting process of FPCB.

product	process	Laser cutting	
		Quality	Productivity
Single Layer FPCB		◎	△
Double Layer FPCB		◎	△
Multi-Layer FPCB		△	△
R-FPCB	Rigid part	X	X
	Flexible part		

◎: most excellent, ○: excellent, △: normal, X: weak

Table 3. Experimental conditions

Variables	Sym bols	Picosecond (ps) laser (RAPID: Lumera)		Nanosecond (ns) laser (Q302+HD: JDSU)
		532	355	355
Wavelength (nm)	λ	532	355	355
Spot size (μm)	ϕ	30		
Focal length (mm)	f	100		160
Pulse duration (sec)	D_p	12×10^{-12}		80×10^{-9}
Average power (W)	P_{ave}	1.8-3.9	0.6	8.0

와 같이 Rigid-FPCB의 레이저 가공이 어려운 원인으로 작용하고 있다.

본 고에서는 레이저 가공의 문제점인 FPCB에서의 낮은 생산성과 열영향을 보완하기 위한 실험내용을 다루고 있으며, 극초단펄스 레이저와 나노초 UV레이저를 이용하여 FPCB의 기판재료인 FCCL(Flexible Copper Clad Laminate)를 절단하며 생산성 및 열영향을 비교하고 있다.

2. 실험방법

본 실험은 FPCB의 레이저 가공시 발생했던 문제점인 낮은 생산성과 열영향을 개선하기 위한 새로운 공정에 대한 시도로서 나노초 UV레이저 및 피코초 레이저의 가공공정비교에 초점을 맞추고 있다. Table 3은 실험에 사용된 레이저 및 가공변수로서 12피코초의 펄스폭(D_p)을 가지는 빔이 조사 가능한 피코초 레이저(RAPID, Lumera laser GmbH)와 80나노초의 펄스폭(D_p)의 빔을 조사하는 나노초 UV레이저(JDSU사 Q302-HD)의 가공성능을 비교분석한 것이다. 실험에 있어 초점크기

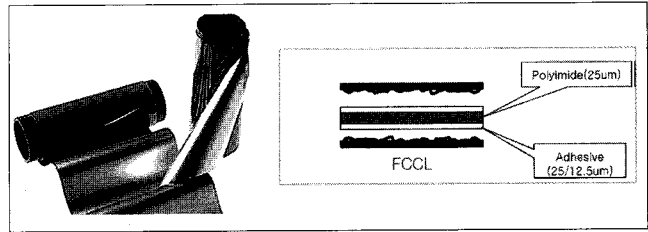


Fig. 1. Picture and layered structure of FCCL.

(ϕ)에 의한 가공성의 차이를 배제하기 위하여 초점크기를 동일하게 설정하였다.

Fig. 1은 실험에 사용된 FCCL(Flexible Copper Clad Layer: 연성동박적층필름)에 대한 도식으로서 원재료인 폴리이미드(PI) 필름과 동박을 점착층을 사이에 두고 붙이는 다층으로 구성된다. 이는 휴대폰·LCD 등에 주로 쓰이는 연성회로기판(FPCB)의 핵심 소재로서 FCCL에 에칭 등을 통해 필요한 회로를 형성하면 FPCB가 된다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 피코초 레이저와 나노초 레이저 그리고 355 nm와 532 nm의 파장에 따른 생산성 및 열영향을 비교하고 있다. 피코초와 나노초 레이저의 비교에서 동일한 첨두출력을 형성시키기 불가능하며 동일한 평균출력을 맞추기 위해 나노초 레이저의 출력을 낮출 경우 가공이 되지 않는 문제가 있어 각 레이저의 최고출력에서 비교실험을 진행하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 355 nm 및 532 nm의 파장에서 피코초(12 ps)와 355 nm파장의 나노초(80 ns)의 가공성을 비교하기 위해 단위길이 당 주입에너지(E_u) 및 단위길이 당 절단시간(t)의 개념을 적용하였다. 식(1)은 단위길이 당 주입된 에너지를 나타내는 식으로서 펄스에너지(평균출력/펄스반복률)와 단위길이 당 주입된 펄스의 수(펄스반복률/조사속도)의 곱으로 정의할 수 있다. 또한 단위길이 당 절단시간은 절단에 필요한 조사회수(N)에 조사속도를 나눈 값으로서 식(2)로서 정의할 수 있다.

$$E_u = \frac{P_{ave}}{Rep.} \times \frac{Rep.}{v} = \frac{P_{ave}}{v} \quad (1)$$

$$t = \frac{N}{v} \quad (2)$$

실험결과 단위길이 당 주입에너지(E_u)는 나노초 레이저(8 W)의 경우 피코초레이저(0.6 W)에 비해 적은 에너지가 주입되었고, 단위길이 당 절단시간(t)는 나노초 레이저(8 W)의 경우 피코초(0.6 W)에 비해 15배 빠른 절단시간을 가진다는 것을 알 수 있었다. 그렇지만 열영향에 있어서는 피코초 레이저의 경우,

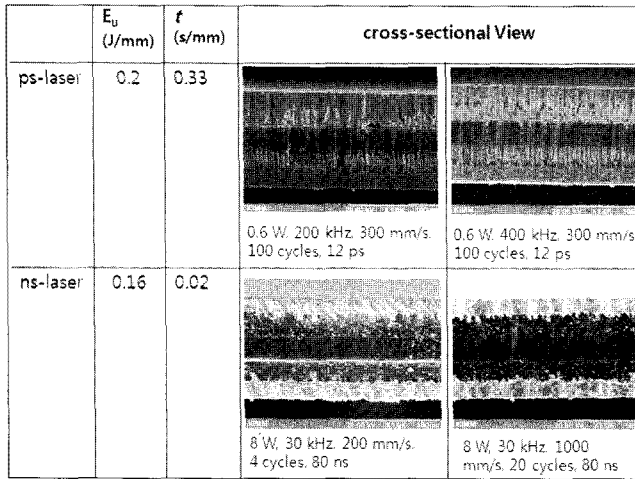


Fig. 2. SEM images of the cut edge of FCCL using ps-laser and ns-laser in 355 nm wavelength.

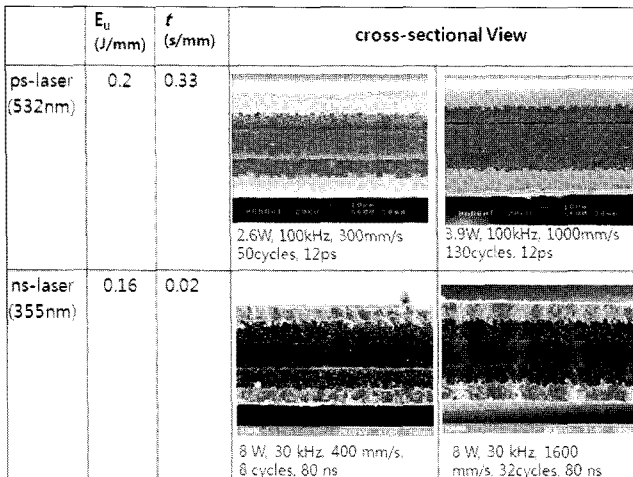


Fig. 3. SEM images of the cut edge of FCCL using 532 nm ps-laser and 355 nm ns-laser.

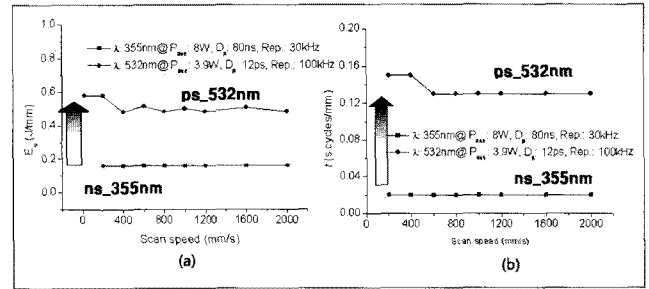


Fig. 4. Comparison of (a) input energy and (b) process time between 355 nm ns-laser and 532 nm ps-laser.

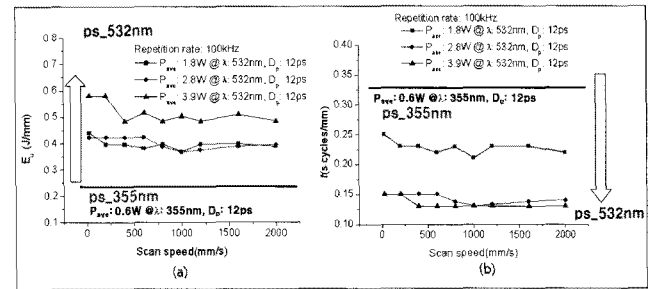


Fig. 5. Comparison of (a) input energy and (b) process time between 355 nm ps-laser and 532 ns-laser.

Table 4. Comparison of FPCB cutting property using ns and ps laser.

	나노초 레이저 (355 nm)	피코초 레이저 (355 nm/532 nm)	비고
단위길이당 주입에너지 (E_u)	0.16 J/mm (@ 8 W)	0.2 J/mm (@355 nm, 0.6 W) 0.4 J/mm (@ 532 nm, 2.8 W)	532 nm의 파장은 355 nm에 비해 구리 층에서 흡수를 저하
단위길이당 절단시간(f)	0.02 sec/mm (@ 8 W)	0.33 sec/mm (@355 nm, 0.6 W) 0.12 sec/mm (@ 532 nm, 3.8 W)	피코초 레이저를 이용 하여 절단속도를 높이 려면 평균출력을 개선 하여야 함
구리층의 열적영향	열적영향에 의한 용융을 다양 발견	용융물이 상대적으로 적게 발견	다층/고집적화의 추세 에 따라 구리층의 비 열적 가공조건 도출 필요

나노초의 경우에 비해 열적 영향이 적어 정밀절단에 유리하다는 것을 보여주고 있다.

Fig. 4는 피코초 355 nm, 532 nm(0.6~3.9 W)와 나노초 355 nm(8 W)의 단위길이 당 주입에너지 및 절단속도를 비교하고 있는 그래프이다. 실험결과 피코초 532 nm(1.8~3.9 W)를 이용하여 FCCL을 절단하는 경우 나노초 355 nm(8 W)에 비해 3배의 단위길이 당 에너지가 필요하고, 나노초 355 nm(8 W)에 비해 단위길이 당 절단시간은 약 7배 길어지는 현상이 발견되었다. 나노초 레이저의 경우 가공속도가 빠른 이유로서는 열적영향에 의한 것으로 판단되며 이로 인하여 가공품 질 측면에서는 피코초 532 nm가 우수하다는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 피코초 영역에서의 355 nm 와 532 nm에 대한 파장

별 분석결과로서, 피코초 532 nm(1.8~3.9 W)를 이용하여 FCCL을 절단하는 경우 355 nm(0.6 W)에 비해 2~3배의 단위 길이 당 에너지를 필요하고 355 nm(0.6 W)에 비해 가공속도는 약 3배 빨라진다는 결론을 얻을 수 있었다. 즉, 355 nm파장의 경우 532 nm파장의 경우보다 흡수율이 높아 단위길이 당 주입 에너지는 낮아지나, 평균출력의 한계로 인하여 가공속도를 높일 수 없는 단점이 있었다.

이와 같은 실험결과는 Fig. 6에 나타난 구리의 흡수율로서 설명이 가능하다.¹⁾ 즉, 레이저를 이용하여 FCCL을 가공할 경우 초기흡수는 구리층에서 발생하는데, 355nm의 경우가 532nm의 경우에 비해 흡수율이 약 2배가량 높기 때문에 가공 속도에 영향을 준 것으로 판단된다.

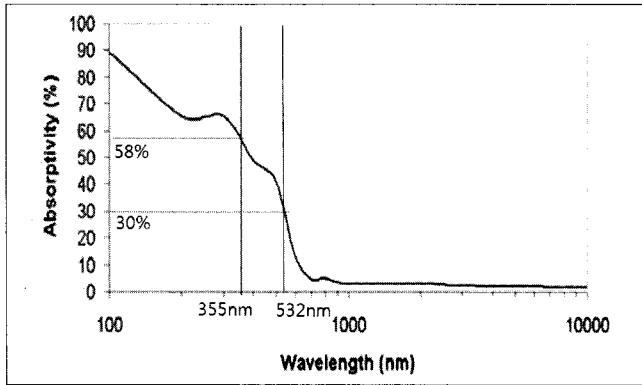


Fig. 6. Absorptivity of copper according to wavelength

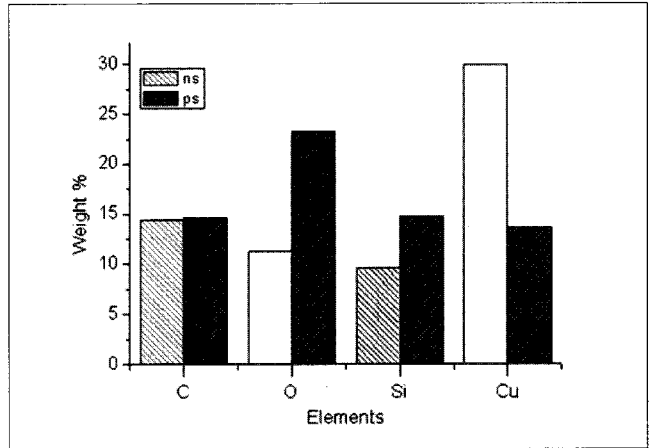


Fig. 8. Comparison of EDX analysis results in dot line of Fig. 7 between ns-laser and ps-laser cutting.

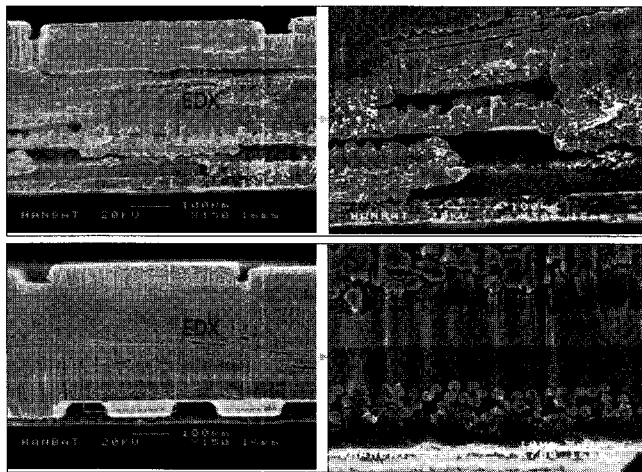


Fig. 7. SEM images of cut edge of rigid layer of FPCB under the followed conditions (a) ns-laser: 80ns,355 nm, 30 kHz, 8 W,1600 mm/s, 300 cycles and (b) ps-laser: 12 ps,532 nm, 100 kHz, 3.8 W,1000 mm/s, 1700 cycles

Fig. 7은 피코초 레이저(532 nm)와 나노초 레이저(355 nm)를 이용한 Rigid-FPCB의 절단 결과를 비교한 절단면부의 SEM사진으로서, 피코초 레이저의 경우 나노초 레이저를 이용하여 절단한 경우에 비해 용융물이 적게 형성되었다는 것을 알 수 있다. 또한 Rigid층 내의 유리섬유 형상이 선명히 나타나는 것으로 보아 열적영향이 상대적으로 적다는 것을 보여주고 있다.

Fig. 8은 Fig. 7에서 점선으로 표시된 부분(동일위치)의 성분 분석(EDX)결과로서, 피코초레이저를 이용한 가공결과는 모재 성분인 Si와 O의 함량이 높게 나오는 반면, 나노초레이저의 가공결과는 단자에서 볼 수 있었던 Cu성분이 높다는 것을 보여주고 있다. 이는 나노초 레이저의 경우 다층 FPCB의 경우일때 단락의 위험이 높아진다는 것을 보여준다.

4. 결론

기존의 FPCB 레이저절단 공정에서 문제점으로 제시되었던 단락현상을 최소화하기 위해 공정을 연구하기 시작하였으며, 피코초 레이저와 나노초 레이저를 이용하여 열적영향이 최소화 되는 조건을 도출하고자 하였다. 실험결과 나노초 레이저는 피코초 레이저 355 nm 및 532 nm 파장의 빔에 비하여 단위길이 당 주입에너지가 다소 낮고 평균출력이 높아 절단속도가 뛰어나다는 것을 알 수 있었다. 그렇지만 구리층의 열적영향은 피코초 레이저가 나노초 UV레이저에 비하여 적다는 것을 알 수 있었다. 이로서 내릴 수 있는 결론은 나노초 레이저는 피코초 레이저의 경우에 비해 가공속도가 빨라 양산공정에 적합하며 피코초 레이저는 나노초 레이저에 비해 용융물이 적게 발생하여 다층/고집적화에 적합하나 출력이 낮은 단점이 있어 현 단계에서의 양산가공으로의 적용이 어렵다는 것을 보여준다. 그렇지만 여러 선도 업체에서 극초단 펄스레이저의 고출력화에 대한 시도가 이루어지고 있으므로 생산성의 문제는 빠른 시일 내에 해결된 것으로 판단된다.

-본 연구는 지식경제부의 차세대신기술개발사업인 “레이저 미세가공공정 및 시스템 상품화 기반기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었다.-

[참고문헌]

1. Matt Henry, Paul Harrison, Jozef Wendland, Ducan Parsons-Karavassilis “Cutting Flexible Printed Circuit Board with a 532 nm Q-switched Diode Pumped Solid

- State Laser", in proceedings of ICALEO 2005, pp. 412-419, 2005.
2. Schmidt, M., Eber, G. "The Future of Lasers in Electronics", in Proceedings of ICALEO 2003, Jacksonville, Florida, LMF, pp. 112-123, 2003.
3. Owen, M.D. Electronic Packaging: Electrical Interconnects, LIA Handbook of Laser Materials Processing, 1st Edition, Magnolia Publishing Inc, Chapter 25, pp. 661-665, 2001.
4. Meier, D.J., Schmidt, S.H. "PCB Laser Technology for Rigid and Flex HDI: Via Formation", Structuring, and Routing, CircuiTree, 2002.
5. N. Arnold and N. Bityurin "Model for laser-induced thermal degradation and ablation of polymers", Appl. Phys. A Vol. 68, pp. 615-625, 1999.
6. G.C. D'Coito and S.V. Babu "Heat transfer and material removal in pulsed excimer-laser-induced ablation: Pulse width dependence", J. Appl. Phys. Vol. 76, pp. 3052-3058, 1994.
7. S.R. Cain, F.C. Burns, C.E. Otis and B. Braren "Photothermal description of polymer ablation: Absorption behavior and degradation time scales", J. Appl. Phys. Vol. 72, pp. 5172-5178, 1993.
8. N. Arnold, B. Luk'yanchuk and N. Bityurin "A fast quantitative modelling of ns laser ablation based on non-stationary averaging technique", Appl. Surf. Sci. Vol. 127, 184-192, 1998.

결막뉴스

범죄로 크는 보안산업... "우린 행복 지킴이"

서울시는 60억원의 예산을 들여 서울시내 초등학교 212곳에 CCTV 800여대를 설치하기로 했다. 이렇게 되면 서울 시내 모든 초등학교는 CCTV 감시망을 갖추게 된다. 최근 강력 범죄가 잇따르면서 이렇게 범죄 예방 작업도 한창이다. 덕분에 CCTV 같은 보안장비를 만드는 업체들은 특수를 맞고 있다.

국내 보안장비 1위 업체인 삼성테크윈은 지난 1월 매출이 지난 동기 대비 77%가 뛰었다. 씨앤비텍 역시 매출액이 전년 대비 20% 증가했다.

보안 장비 구축을 통해 사회 불안 요소를 없애려는 노력은 비단 우리나라 뿐 아니다.

네트워크(IP) 카메라 업체인 아이캔텍은 지난 연말까지 IP 카메라 4400대(150만불)를 두바이에 수출했다. IP 카메라는 CCTV를 인터넷망으로 연결해 먼 곳에서도 감시가 가능한데다 영상 데이터의 관리가 수월한 첨단 보안 시스템을 말한다.

보안산업은 대개 광학과 전자, 기기분야로 이뤄져 있으며 CCTV만 놓고 봤을 때 지난해 세계적으로 22억 6700만 달러(3조원)의 시장이 형성돼 있는 것으로 파악된다.

국내에는 삼성테크윈과 삼성전자, LG전자 등 대기업과 중소기업, 외국계 기업들이 경쟁하고 있다.

최근에는 범죄가 진화하면서 보안 산업의 지평도 넓어지는 추세다. 과거 호신용 장비 업체 등에서부터 IT 과학을 접목한 다양한 첨단 장비로 발전하고 있다. 이동통신사들이 일반인에게 제공 중인 GPS기반의 위치확인 서비스와 공공기관의 출입통제 솔루션도 등도 일종의 보안 산업이다.

바이러스나 해킹 같은 온라인상의 사이버 범죄를 추적하고 해결하는 컴퓨터 보안업 역시 광의의 범죄 산업으로 볼 수 있다. 특히 오프라인상의 보안 산업에 대해서는 '범죄를 이용해 발 빠르게 잇속을 챙긴다'거나 '프라이버시가 보호받지 못하는 감시의 세상을 만든다'는 곱지 않은 시선도 있다.

