

나노초 UV 레이저 응용 IC 기판 소재 조성별 가공 특성

손현기[✉], 신동식, 최지연

광응용기계연구실, 한국기계연구원

Characteristics of direct laser micromachining of IC substrates using a nanosecond UV laser

Hyonkee Sohn, Dong-sig Shin, Jiyeon Choi

Dept of High-density & High-energy Beam Processing, KIMM

Abstract

Dimensions (line/space) of circuits in IC substrates for high-end chips (e.g. CPU, etc.) are anticipated to decrease as small as 10 μ m/10 μ m in 2014. Since current etch-based circuit-patterning processes are not able to address the urgent requirement from industry, laser-based circuit patterning processes are under active research in which UV laser is used to engrave embedded circuits patterns into IC substrates. In this paper, we used a nanosecond UV laser to directly fabricate embedded circuit patterns into IC substrates with/without ceramic powders. In experiments, we engraved embedded circuit patterns with dimensions (width/depth) of about 10 μ m/10 μ m and 6 μ m/6 μ m into the IC substrates. Due to the recoil pressure occurring during ablation, the circuit patterning of the IC substrates with ceramic powders showed the higher ablation rate.

Keywords: PCB(인쇄회로기판), IC substrate(IC 기판), build-up film(빌드업 필름), ceramic powder(세라믹 분말)

1. 서론

스마트 폰 등 high-end 모바일 기기에 사용되는 인쇄회로기판(PCB) 내 도선의 치수는 기기의 집적도가 증가함에 따라 감소하게 되며, CPU 등 고성능 칩(chip)이 실장되는 IC 기판(substrate) 내 도선의 치수(line/space)는 수년 내에 10 μ m/10 μ m 이하로 줄어들 것으로 전망되고 있다.¹ IC 기판은 빌드업 필름(build-up film)을 적층하는 방식으로 제작되며, 기존 제작 방식인 SAP(semi-additive process)는 10 μ m/10 μ m 도선 공정에 적용할 수 없어 레이저를 이용하여 빌드업 필름에 내재된 도선(embedded circuits)을 직접 가공하는 방식을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다.^{2,3}

기존의 빌드업 필름은 CTE(coefficient of thermal expansion)을 조절하기 위해 세라믹 분말(SiO₂)이

포함되어 있다. 최근 레이저를 이용하여 빌드업 필름에 직접 도선 패턴을 가공하는 공정 개발에 대한 연구가 진행되면서 빌드업 필름의 조성을 레이저 가공에 유리하도록 개발하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 기존의 빌드업 필름과 레이저 가공에 적합하도록 개발되고 있는 빌드업 필름에 대해 나노초 UV 레이저를 이용하여 산업계에서 요구하고 있는 선폭/깊이가 10 μ m/10 μ m 이하의 치수를 갖는 도선 패턴을 가공하고, 각 빌드업 필름의 가공 특성에 대해 분석한다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 실험장치를 보여주고 있으며, 실험에 사용된 나노초 UV 레이저(AIVA, Coherent사)의 사양은 파장 355nm, 최대 평균출력 33W(@ 100kHz), 최대 펄스 반복율 300kHz, 펄스폭 40ns이며, 레이저 빔을 집속하기 위해 사용한 telecentric f-theta 렌즈

투고일 : 2012년 9월 14일 심사완료일 : 2011년 3월 15일
 게재승인일 : 2011년 3월 20일
 교신저자 : 손현기 ✉ hsohn@kimm.re.kr

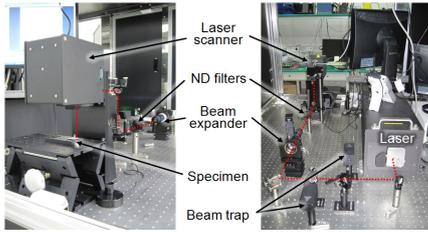


Fig. 1 Experimental setup.

Table 1 Properties of build-up films used in experiments

	Material A	Material B
Average filler size (μm)	0.5	-
Amount of filler (wt%)	63	-
CTE (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)	23	35
Surface roughness (nm)	150-250	150-250

Table 2 Experimental conditions

Parameters	Values
Ave. power (mW)	200, 320
Scan speed (mm/s)	350-600
Rep. rate (kHz)	300
No. of scan	1

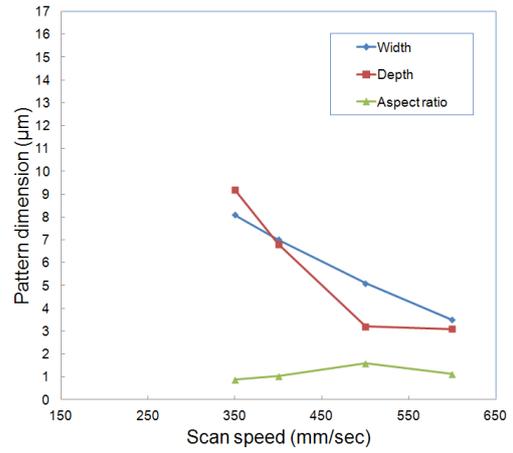
(Scanlab사)의 사양은 초점거리 56mm, 조사 영역 20mm × 20mm이다.

Table 1에서 실험에 사용된 IC 기관용 두 가지의 빌드업 필름(Material A, B)의 물성을 요약하였다. 레이저 가공용으로 개발되고 있는 Material B는 도선 패턴이 가공되는 층은 세라믹 분말이 포함되어 있지 않으며, 그 아래 층에 세라믹 분말이 포함되어 있다. 세라믹 분말이 포함되어 있지 않은 층의 두께는 약 10 μm 이다.

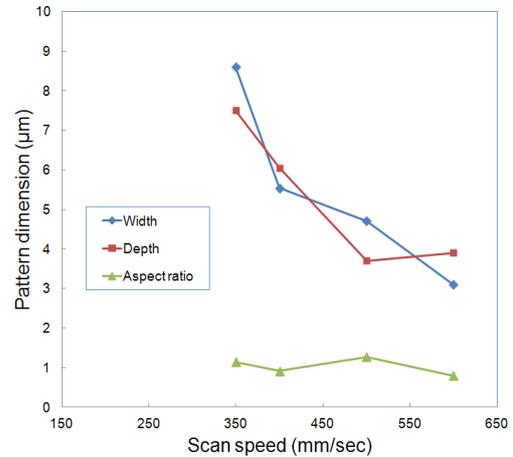
실험 변수는 레이저 출력과 레이저 빔 조사 속도이며 생산성이 높은 공정 조건을 도출하기 위해 펄스 반복률은 최대값인 300kHz로, 조사 회수는 1회로 설정하였다(Table 2 참조). 실험은 대기압 조건에서 수행하였으며, 가공 중에 보호 가스는 사용하지 않았다. 레이저 출력은 레이저 발전기 외부에 분광기(beam splitter)와 ND 필터를 설치하여 조절하여 가공 중에 레이저 발전기의 출력 안정도(<2%, 2 σ rms)를 유지하였다.

3. 결과 및 토론

레이저 출력과 레이저 빔 조사 속도에 따라 빌드업



(a) Material A with ceramic fillers



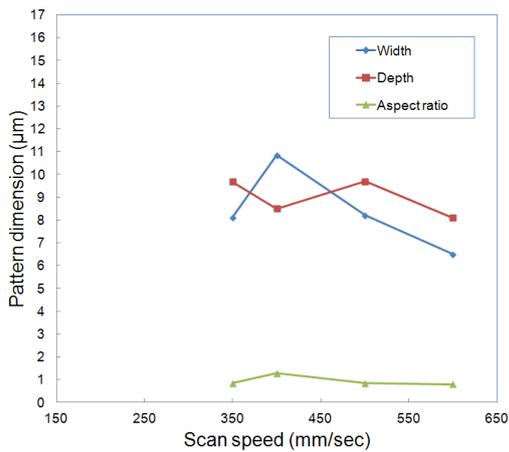
(b) Material B without ceramic fillers

Fig. 2 Experimental results with parameters: laser power 200mW, repetition rate 300kHz.

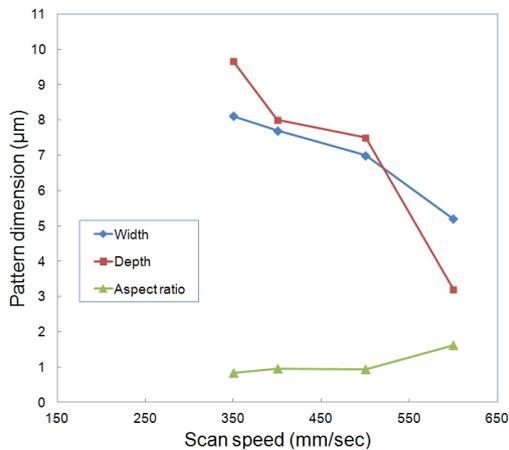
Table 3 Comparison in the ablated area with parameters: laser power 200mW, repetition rate 300kHz

Pulse energy (μJ)	Scan speed (mm/s)	Overlap ratio (%)	Ablated area (μm^2)	
			Material A	Material B
0.66	350	80	37.2	32.2
	400	78	23.8	16.5
	500	72	8.1	8.9
	600	66	5.4	6.0

필름 소재인 Material A,B에 가공된 도선 패턴의 선폭/깊이 변화를 Fig. 2,3에 나타내었다. 조사 속도가 빨라질수록 소재에 유입되는 단위면적당 열에너지가 감소하여 Material A,B에 가공된 도선 패턴의 선폭/깊이가 감소하게 되나, Table 3,4에서 보는 바와 같이 Material A,B에 가공된 패턴의 단면적을 비교해 보면, 소재 내부에 평균 직경 0.5 μm 의 세라믹 필러가 63wt% 포함된 Material A의 경우가 상대적



(a) Material A with ceramic fillers



(b) Material B without ceramic fillers

Fig. 3 Experimental results with parameters: laser power 320mW, repetition rate 300kHz.

Table 4 Comparison in the ablated area with parameters: laser power 320mW, repetition rate 300kHz

Pulse energy (μJ)	Scan speed (mm/s)	Overlap ratio (%)	Ablated area (μm ²)	
			Material A	Material B
1.06	350	80	38.9	39.2
	400	78	45.9	30.8
	500	72	39.7	26.2
	600	66	26.3	8.3

으로 높은 것을 볼 수 있다. 이것은 Material A의 경우 유입된 레이저 에너지에 의해 Material A의 폴리머 부분이 가공될 때 발생하는 반발 압력 (recoil pressure)에 의해 세라믹 분말이 분출되어 실제 가공된 면적이 폴리머로만 구성된 Material B에 비해 상대적으로 커진 것으로 판단된다.³⁻⁶ 세라믹 분말을 포함하고 있는 Material A에 유입된 레이저 빔의 펄스 에너지는 약 1μJ이하로 세라믹

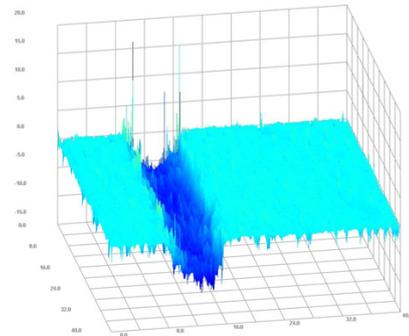
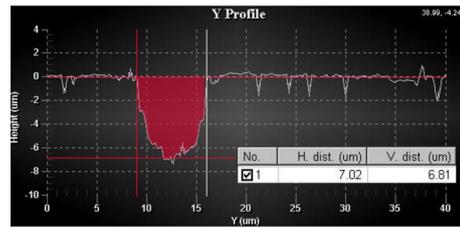
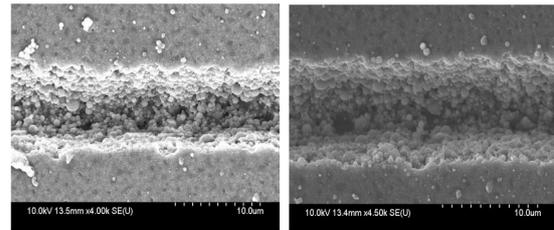


Fig. 4 Confocal microscope images of a pattern fabricated in Material A with parameters of laser power 200mW and scan speed 400mm/s.



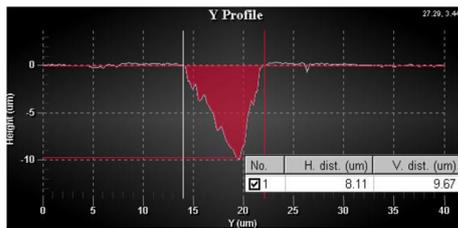
(a) (b)

Fig. 5 SEM images of patterns fabricated in Material A: (a) laser power 200mW, scan speed 400mm/s, width 7.0μm, depth 6.8μm and (b) 320mW, 400mm/s, 10.8μm, 8.5μm.

분말을 가공하기에는 충분하지 않은 값이다.⁷ 가공된 패턴의 단면적은 실제 패턴의 경계 형상을 고려하여 계산하는 것이 현실적으로 불가능하여, confocal microscope에서 측정된 각 경우의 패턴 선폭과 깊이를 기준으로 가공된 단면적을 계산하였다.

Fig. 3(a)에서 보면, 레이저 빔의 조사 속도가 증가하면서 가공된 패턴의 선폭과 깊이가 다른 경우에 비해 상이한 경향을 보이는데, 이것은 Material A에 포함된 세라믹 분말이 가공 중 탈락되어 패턴의 선폭과 깊이가 불균일하게 되어 발생한 측정 오차에서 비롯된 것으로 보인다.

Fig. 4,5에서 보면 Material A에 가공된 도선 패턴 주변에 세라믹 분말들을 볼 수 있으며, 이는 2차 도금 공정 이전에 완전히 제거되어야 하므로, 가공 공정 시 또는 후공정에서 보조 가스



(a)



(b)

Fig. 6 (a) Confocal microscope image and (b) optical microscope image of a pattern fabricated in Material B with parameters of laser power 320mW and scan speed of 350mm/s.

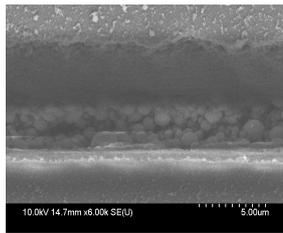


Fig. 7 SEM image of a patterns fabricated in Material B: laser power 320mW, scan speed 300mm/s.

등을 이용하여 제거할 수 있는 대책이 필수적이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 Material A에 가공된 도선 패턴의 벽면에는 세라믹 분말이 노출되어 있으며, 이는 2차 공정인 도금 공정에서 기공(void) 형성 및 패턴으로부터 탈락될 가능성이 있어 이에 대한 실험이 필수적이다.

세라믹 분말이 포함되어 있지 않은 Material B의 경우는 Fig. 6,7에서 보는 바와 같이 패턴 모서리에 약간의 용융물이 형성되어 있으나, Material B 표면에는 잔여물(debris)이 거의 없으며, 세라믹 분말을 포함하고 있지 않기 때문에 가공된 도선 패턴의 벽면이 상대적으로 매끈한 것을 볼 수 있다. Material B의 경우는 레이저 가공성을 높이기 위해 조성을 변경한 것으로 기존 상용 공정에 사용되고 있는 Material A와 같이 2차 도금 공정에 적용하여 도금성 및 도전성 등에 대한 실험을 하여 실제 적용 가능성을 확인하여야 한다.

4. 결론

나노초 UV 레이저를 이용하여 CPU 등 high-end 칩에 적용되는 IC 기판에 도선 패턴을 가공하는 실험을 수행하였으며, 실험에 사용된 기판의 조성에 따른 가공 특성을 실험적으로 분석하였다. 기존의 IC 기판 소재는 세라믹 분말이 포함되어 있어 가공된 패턴의 표면에 세라믹 분말이 노출되었으며, 레이저 가공성을 향상시키기 위해 세라믹 분말이 없는 폴리머 층을 별도로 사용된 Material B의 경우는 가공된 도금 패턴의 표면 거칠기는 상대적으로 뛰어나, 가공성은 떨어졌다. 레이저 실험 조건을 조절하여 치수(선폭/간격)가 10 μ m/10 μ m - 6 μ m/6 μ m 인 도금 패턴을 가공하였다.

후 기

본 연구는 산업원천기술개발사업인 고밀도 인쇄 회로 기판용 laser direct polymer patterning 기술 개발과제(과제번호 : 10035494)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) http://www.itrs.net/Links/2010ITRS/2010Update/ToPost/2010Tables_Interconnect_FOCUS_E1_ITRS.xls.
- 2) www.atotech.com/fileadmin/pdf/papers/el/JPCA_2007_PP_Paper_Increased_of_Minimization_With_Trench_Filling_Technology.pdf.
- 3) H. Sohn, D.S. Shin and J. Choi, "Fabrication of embedded circuit patterns for IC substrates using UV laser," J. of KSLP, Vol. 14, No. 1, pp. 14-18, 2011.
- 4) L.I. Kuznetsov, "Recoil momentum at a solid surface during developed laser ablation," J. Quantum Electron, 23, pp. 1035-1038, 1993.
- 5) D.J. Lee, S.H. Jeong, "Analysis of recoil force during Nd:YAG laser ablation of silicon," Applied Physics A, 79, pp. 1341-1344, 2004.
- 6) J. Perriere, E. Millon, E. Fogarassy, "Recent Advanced in Laser Processing of Materials," Elsevier Ltd., London, 2006.
- 7) Laser Micromachining Principle, TeoSys Engineering LLC, 2003.