

Laser-Driven Peeling of the Photoresist-Protective Film of a Printed Circuit Board

Hyung Seok Min, Jun Yeon Heo, Jee Young Lee, and Myeongkyu Lee[†]

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received April 29, 2015; Revised manuscript August 4, 2015; Accepted August 11, 2015)

In this paper we show that the photoresist-protective film of a printed circuit board (PCB) can be delaminated from the underlying photoresist layer by a single pulse of a nanosecond laser at 532 nm. After locally peeling the edge of the PCB with a laser beam of 9 mm size, Scotch tape was attached to the irradiated region to peel off the whole protective film. For a certain range of pulse energies the peeling probability was 100%, without leaving any damage. Since the use of a laser in initial delamination is noncontact and nondamaging, it may be more efficiently utilized in the PCB industry than the conventional knurling method based on mechanical pressing.

Keywords: Pulsed laser, Laser-driven delamination

OCIS codes: (140.3538) Lasers, Pulsed; (140.3390) Laser materials processing

인쇄회로기판 감광층 보호필름의 레이저 유도 박리

민형석 · 허준연 · 이지영 · 이명규[†]

연세대학교 신소재공학과
④ 120-749 서울시 서대문구 연세로 50번지

(2015년 4월 29일 받음, 2015년 8월 4일 수정본 받음, 2015년 8월 11일 게재 확정)

본 논문에서는 인쇄회로기판의 감광층 보호필름을 532 nm 파장의 나노초 레이저의 단일펄스로 박리할 수 있음을 보여준다. 인쇄회로기판의 가장자리를 9 mm 크기의 레이저 범으로 국부적으로 박리시킨 후 스카치테이프를 레이저 조사에 의해 초기 박리된 영역에 붙여 전체 보호필름을 떼어내었는데, 160 ~ 170 mJ의 펄스에너지 범위에서는 10회의 반복된 실험 모두에서 감광층 손상 없는 박리에 성공하였다. 보호필름 초기 박리에 레이저를 사용하는 방식은 기계적 압착에 바탕을 둔 기존의 널링방식과는 달리 감광층에 손상을 유발하지 않는 비접촉 방식으로써, 인쇄회로기판 제조공정에 보다 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Keywords: 펄스 레이저, 레이저 유도 박리

OCIS codes: (140.3538) Lasers, Pulsed; (140.3390) Laser materials processing

I. 서 론

인쇄회로기판(Printed circuit board: PCB)은 폐늘/에폭시 등 의 절연판 위에 동박(Copper foil)을 부착시킨 다음, 회로 배선에 따라 동박을 에칭하여 필요한 회로를 구성한 것으로써 소형 가전제품에서부터 이동통신 기기에 이르기까지 모든 전자기기에 사용되는 핵심 부품이다. PCB의 제조에는 여러 가지 공정이 요구되는데, 동박에 회로를 형성하기 위해서는 반도체 소자에서와 마찬가지로 리소그래피 공정이 필요하다. 리소그래피용 감광층(Photoresist layer)은 두께 약 18 μm의 polyester 필름에 의해 보호되는데, 이러한 보호필름은 감광

층을 노광한 후 현상하기 전에 감광층으로부터 박리되어 제거된다. 보호필름의 박리는 PCB 가장자리에서의 국부적인 초기 박리와 초기 박리된 영역에 테이프를 붙여 전체 필름을 벗겨내는 두 가지 과정으로 이루어져 있는데, 이는 오토필러(Auto peeler) 서비스에 의해 연속적, 자동적으로 진행된다.

현재 사용 중인 오토필러 대부분은 표면요철을 가진 스템프로 PCB 가장자리 부분을 눌러 보호필름을 초기에 박리시키는 널링(Knurling)방식을 채택하고 있는데, Fig. 1은 이러한 방식에 따른 보호필름 전체 박리 공정을 보여주는 모식도이다. 널링방식은 표면요철 구조의 기계적 압착을 이용하기에, 보호필름이 박리되지 않아 테이프가 끊어지거나 박리 도

[†]E-mail: myeong@yonsei.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

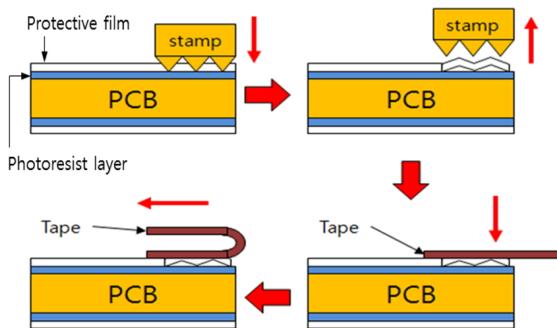


FIG. 1. Schematic of protective film peeling by knurling method.

중에 필름이 찢어지는 문제가 자주 발생한다. 이로 인해 PCB 제조 공정 상 생산량 저하 등의 문제가 연쇄적으로 발생하는데, 현재 널링방식 오토필터의 박리 성공률은 97%로 알려져 있다. 본 논문에서는 보호필름 초기 박리에 펄스레이저를 이용하는 연구를 수행하였으며, 특정 펄스에너지 범위에서는 감광층 손상 없는 박리 성공률 100%를 달성하였다. 이러한 레이저 유도 방식은 기존의 널링방식과는 달리 비접촉 방식으로써, 인쇄회로기판 제조 공정에 보다 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 레이저 초기 박리 메커니즘 및 연구 결과

물질과 펄스레이저의 반응은 물질의 종류, 레이저의 파장 및 강도, 펄스 폭에 의해 다양하게 나타날 수 있는데,^[1-4] 이는 레이저에 의한 물질 가공 공정에 유용하게 이용될 수 있다. Figure 2는 레이저 초기 박리의 예상되는 메커니즘을 보여주고 있는데, PCB에서 동박과 에폭시, 감광층과 동박은 비교적 강한 접착을 하고 있는 반면 보호필름과 감광층의 접착력은 그리 크지 않다. 레이저 빔이 들어오면 레이저 펄스 에너지 흡수로 동박에서 순간적인 열팽창이 발생하는데, 이러한 열팽창은 다른 물질에 응력으로 작용한다. 물질간 기계적 특성의 차이로 응력에 따른 변형률은 상이한데, 이 때 접착력이 약한 보호필름과 감광층은 서로 떨어질 수 있다. 펄스레이저에 의해 물질에 유도된 열팽창 정도의 차이를 이용하여 기판 위에 증착된 박막에 미세 패턴을 형성하는 많은 연구결과들이 보고되었는데,^[5-8] 본 연구는 이러한 현상에 바탕을 두고 있다.

Figure 3은 연구에 사용된 광학계를 보여주고 있다. 레이저는 532 nm의 나노초 펄스레이저(Brilliant B, Quantel, 펄스 폭: 6 ns, 반복속도: 10 Hz, 최대 펄스 에너지: 350 mJ, 빔 사이즈: 9 mm)가 사용되었으며, 감광층과 보호필름은 PCB의 양면에 존재하므로 $\lambda/2$ -plate와 polarizing beam splitter(PBS)의 조합에 의해 동일한 에너지의 두 빔이 PCB의 양면에 동시에 조사되도록 하였다. 초기 박리에는 다양한 펄스에너지의 단일펄스만 사용되었는데, 펄스에너지의 정확한 조절을 위해 빔의 일부를 slide glass에 의해 detector로 반사시켜 그 에너지를 측정하였다. 매우 높은 반복속도(30 kHz)를 갖는 펄스

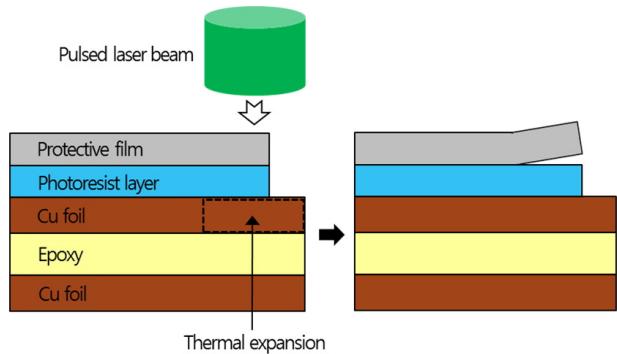


FIG. 2. Potential mechanism of laser-driven initial delamination.

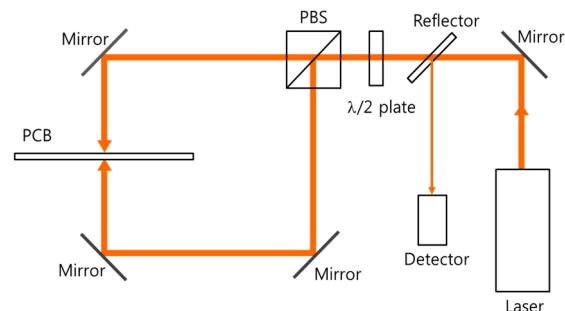


FIG. 3. Optics setup used for laser-driven peeling.

레이저에 의한 연구도 진행하였으나(355 nm 파장의 Coherent 사 AVIA laser와 1064 nm 파장의 Optilase사 pulsed fiber laser), 그 파장과 상관없이 낮은 fluence에서는 아무런 영향을 주지 못하고 반대로 높은 fluence에서는 보호필름에 심각한 손상을 야기하여 초기 박리가 불가능하였다. 이는 연속적인 펄스의 입사로 인해 에너지가 누적되어 물질의 온도가 지나치게 올라가기 때문에 분석되었다. 점진적인 온도상승이 아닌 순간적인 열팽창을 유도해야 하는 연구의 목적상 낮은 에너지의 여러 펄스보다는 높은 에너지의 단일펄스가 더 적합할 것인데, Fig. 4는 532 nm의 나노초 펄스레이저의 단일펄스에 의한 결과를 비교하여 보여주고 있다. 레이저 조사 전 혹은 펄스에너지가 지나치게 낮을 때에는 초기 박리가 일어나지 않아 테이프를 붙여도 보호필름을 벗겨낼 수 없었다 (Fig. 4(a)). Figure 4(b)에서 보는 바와 같이 160 mJ의 펄스 에너지에서는 감광층 손상 없이 초기 박리를 유도할 수 있었고 테이프를 이용하여 보호필름 전체를 박리할 수 있었다. 펄스에너지가 180 mJ로 증가하였을 때는 초기 박리와 테이프에 의한 전체 박리 모두 가능하였으나, Figure 4(c)에서처럼 감광층이 손상된 흔적이 관찰되었다. 펄스에너지가 200 mJ 이상으로 더욱 증가되었을 때는 레이저가 조사된 영역의 감광층이 보호필름에 묻어 나오는 현상이 발생하였다 (Fig. 4(d)). 이는 지나친 온도상승으로 인해 감광층이 열적으로 분해된 결과로 여겨진다.

PCB 감광층의 가장자리 부분은 일반적으로 노광이 되지 않기에 Fig. 4(c)와 같은 레이저 조사 흔적은 큰 문제가 되지

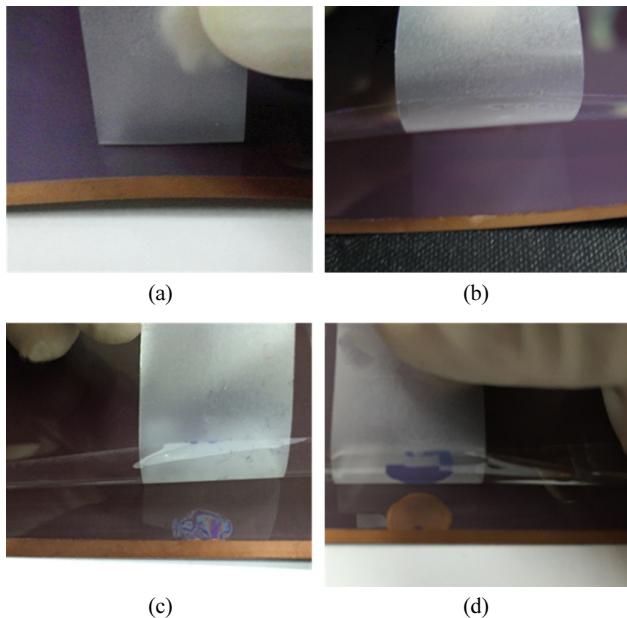


FIG. 4. Camera images showing the peeling of protective film by use of a scotch tape. (a) before irradiation, (b) after irradiation with a pulse of 160 mJ, (c) after irradiation with a pulse of 180 mJ, (d) after irradiation with a pulse of 200 mJ.

않을 수도 있으나, 감광층에 아무런 손상을 남기지 않는 것이 보다 바람직하다. 연구의 목적상 감광층 손상 없는 박리 조건의 확립과 공정 신뢰성 확보는 무엇보다도 중요한 요소인데, 이를 위해 동일 펄스에너지 하에서 각 10회의 반복적인 실험을 통해 박리 성공률을 구하였다. Figure 5에 그 결과를 제시하였는데, 펄스에너지가 110 mJ 이하일 때는 전혀 박리가 되지 않았다. 이후 펄스에너지가 증가할수록 박리 성공률도 증가하였는데, 각 10번의 테스트 중 120 mJ에서는 2번, 140 mJ에서는 8번 박리에 성공하였다. 펄스에너지가 160 mJ 이상일 경우 박리 성공률은 100%에 달했는데, 180 mJ부터 감광층 손상 흔적이 나타나기 시작하여 200 mJ 이상에서는 감광층이 떨어져 나오는 현상이 관찰되었다. 따라서 레이저에 의한 보호필름의 안정적 박리 조건은 160 - 170 mJ로 확인되었다. 여기서 제시한 펄스에너지는 PCB에 조사되기 전에 측정된 값이며, 감광층의 투과도와 표면에서의 반사를 고려할 때 실제 PCB 도착 에너지는 이의 약 90%로 여겨진다. 샘플 수량의 한정으로 동일 조건에서 각 10회의 제한된 횟수의 실험을 통해 박리 성공률을 구하였는데, 보다 정확한 값의 측정을 위해서는 보다 많은 샘플의 확보와 실험 횟수가 필요할 것이다. 그럼에도 불구하고 10회 모두에서 감광층 손상 없는 박리가 가능하였다는 점은 매우 고무적이다. Figure 6은 초기 박리에 이은 테이프 부착으로 보호필름 전체를 제거하는 모습을 보여주는 사진이다. 현재 국내 PCB 제조업체에서 사용 중인 오토플러는 거의 대부분 널링방식을 채택한 수입장비들인데, 본 연구가 보다 우수한 성능의 국산장비개발을 위한 시발점이 될 수 있을 것으로 기대한다. 제시한 방식은 비접촉식일 뿐 아니라, 6 ns 펄스 폭의 단일펄스에 의

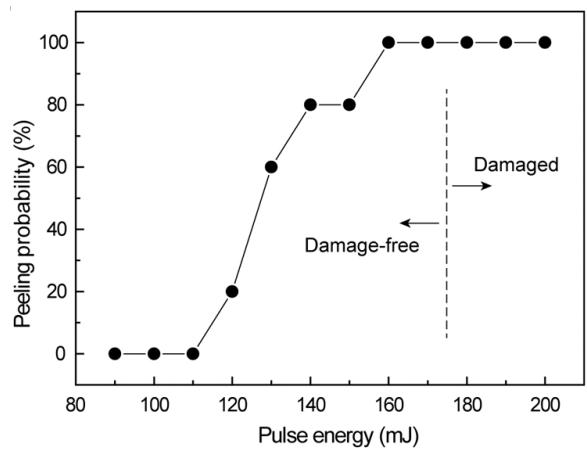


FIG. 5. Peeling probability vs. used pulse energy.

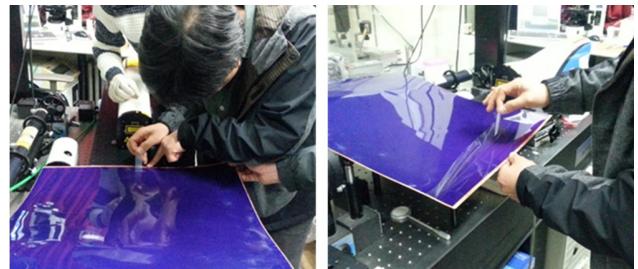


FIG. 6. Camera images showing the peeling of a whole protective film.

해 초기 박리가 이루어지므로 레이저 조사시간 또한 매우 짧은 장점이 있다. 개발 기술의 상용화에는 여러 가지 난관이 있을 수 있는데, 레이저 유도 박리기술이 오토플러에 적용되기 위해서는 새로이 도입되는 장치의 부피를 줄일 수 있는 평행계 설계와 요구되는 펄스에너지를 출력할 수 있는 compact laser의 확보가 필요할 것으로 사료된다.

III. 결 론

PCB에는 두께 약 20 μm 의 감광층과 그 위에 18 μm 두께의 보호용 필름이 붙어 있는데, 보호필름은 노광 후 표면요철을 가진 스템프로 눌러 초기 박리시킨 후 테이프를 붙어 벗겨내게 된다. 이러한 과정은 오토플러에 의해 자동으로 이루어지는데, 기존 오토플러의 경우 초기 박리는 널링(knurling)으로 불리는 기계적 접촉방식을 사용하기에 미필링이 자주 발생하고 이로 인해 테이프 끊어짐, 필름 찢어짐, 제품 공정상의 생산량 저하 등이 연쇄적으로 발생함에 따라 공정시간이 지연되는 문제가 발생되고 있다. 본 연구에서는 비접촉방식인 레이저에 의한 초기 박리를 이용하여 상기의 여러 문제점을 해결하고자 연구를 진행하였으며, 이를 통해서 인쇄회로기판 표면에 damage를 입히지 않고 초기 박리할 수 있는 최적의 레이저 조사 조건을 확보하였다.

감사의 글

본 연구는 충북지방중소기업청 2013 산학연 도약기술개발 사업의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 C0149882).

References

1. J. Lee, C. Curran, and K. Watkins, "Laser removal of copper particles from silicon wafers using UV, visible and IR radiation," *Applied Physics A: Materials Science & Processing* **73**, 219-224 (2001).
2. M. Arronte, P. Nerves, and R. Vilar, "Modeling of laser cleaning of metallic particulate contaminants from silicon surfaces," *J. Appl. Phys.* **92**, 6973-6982 (2002).
3. G. Vereecke, E. Rohr, and M. Heyns, "Laser-assisted removal of particles on silicon wafers," *J. Appl. Phys.* **85**, 3837-3843 (1999).
4. D. Willis and V. Grosu, "Microdroplet deposition by laser-induced forward transfer," *Appl. Phys. Lett.* **86**, 244103-1-3 (2005).
5. H. Kim, H. Shin, J. Ha, and M. Lee, "Optical patterning of silver nanoparticle Langmuir-Blodgett films," *J. Appl. Phys.* **102**, 083505-1-4 (2007).
6. H. Shin, H. Kim, H. Lee, H. Yoo, J. Kim, H. Kim, and M. Lee, "Photoresist-free lithographic patterning of solution-processed nanostructured metal thin films," *Adv. Mater.* **20**, 3457-3461 (2008).
7. H. Yoo, H. Shin, B. Shim, S. Kim, and M. Lee, "Parallelized laser-direct patterning of nanocrystalline metal thin films by use of a pulsed laser-induced thermo-elastic force," *Nanotechnology* **20**, 245301-1-6 (2009).
8. H. Shin, H. Lee, J. Sung, and M. Lee, "Parallel laser printing of nanoparticulate silver thin film patterns for electronics," *Appl. Phys. Lett.* **92**, 233107-1-3 (2008).