

# UV 레이저를 이용한 폴리이미드의 미세 가공 효과

## Effect of Micro-Processing on Polyimide with UV Laser

\*#서명희<sup>1</sup>, 박기영<sup>1</sup>

\*#M. H. Seo (sign0924@naver.com)<sup>1</sup>, K. Y. Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 고등기술연구원 로봇생산기술센터

Key words : UV laser, Micro-Processing, Laser Scribing, Pulse Laser, Polyimide

### 1. 서론

최근에 반도체를 비롯한 미세 가공 분야에서 레이저를 이용한 공정들이 테스트 단계를 넘어서 상용화 단계에 이르고 있는 실정이다. 그 가운데 파장이 짧은 UV 레이저를 이용한 스크라이빙(scribing), 그루빙(grooving), 커팅(cutting) 등의 공정은 레이저를 사용하면 비접촉식이므로 기존 공정보다 정밀화, 소형화가 가능하다. 레이저는 파장이 짧고, 첨두출력(peak power)이 높을수록 시편에 열영향부(HAZ, Heat Affected zone)가 거의 없는 초정밀 가공이 이루어진다. 파장이 짧은 UV 레이저를 이용하여 폴리이미드 필름이 부착된 PCB, FPC에 많이 사용되고 있다. 기존에는 폴리이미드 같은 필름을 가공하기 위하여 다이싱 방법을 사용하였지만, 다이싱 도구에 맞추어 재료의 구조적인 변형이 병행되어야 하는 문제점이 있었다. 하지만 레이저 스크라이빙 방법을 도입되면서 샘플의 특별한 구조 변화 없이 가공이 가능하게 되었다. 또한 필름이나 금속의 종류에 상관없이 가공이 가능하므로 유용하게 사용할 수 있다.<sup>1</sup>

본 연구에서는 산업적으로 많이 활용되는 폴리이미드(polyimide: PI) 필름을 이용하여 레이저로 가공을 하고 이를 스캔 속도, 펄스 반복 속도(pulse repetition rate)에 따라 비교 분석하였다.

여기서 펄스 레이저의 가공 속도와 관련된 중첩율에 대하여 살펴보았다. 펄스 레이저에 의한 재료 가공은 펄스들을 중첩시켜 사용한다. 이러한 중첩율은 레이저 빔 펄스의 반복속도와 가공속도에 의해 고려되며 식(1)과 같다.<sup>2</sup>

$$\text{중첩율}(\%) = (1 - \frac{l}{2r}) \times 100 \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 레이저 빔의 반경,  $l$ 은 조사된 펄스 중심간의 거리이다. 가공 속도는 레이저의 중첩율에 의해 구속되며 이는 생산속도를 결정하는 중요한 인자이다.

가공 재료로 쓰인 선형 방향족 폴리이미드는 폴리amic 산(polyamic acid (PAA)) 형태로 만들어진 후 적절한 과정을 거쳐 폴리이미드로 된다. 이러한 방향족 폴리이미드의 합성법은 1908년 처음 보고 되었으며, 1950년대 미국의 듀폰사(Dupont社)에서 처음으로 상업적 목적으로 개발되어 1960년대에 첫 상업화 제품이 출시되었다.

'Kapton'이라는 상품명을 가진 이 폴리이미드 수지는 점차 열 안정성과 기계적 강도 및 절연성을 가진 불화 폴리이미드가 중합되었으며 그 외에도 용도에 따라 수지 골격의 다양한 변화에 의해 많은 폴리이미드 수지 종류가 개발되었다. 폴리이미드 필름에 관련된 기술은 크게 폴리이미드 필름을 제조하는 기술과 폴리이미드 필름을 응용하는 주변 기술로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 폴리이미드 필름을 응용하는 레이저 가공 기술에 대하여 분석하고자 한다. 폴리이미드 제조 기술로 중합된 폴리이미드 필름은 레이저 스크라이빙 과정을 통하여 원하는 품질의 라인을 만들 수 있다. 레이저 가공 속도 별 펄스 중첩율의 변화시 스크라이빙의 역할을 분석해보기로 하였다. 이 과정에서 레이저를 사용하므로 열적인 현상에서 비롯되는 어블레이션이나 열적 손상이 일어나게 된다. 조건 별로 손상되는 시점을 확인하여 가장 적합한 조건을 가공 조건으로 활용이 이루어져야 한다.

### 2. 실험 장치

폴리이미드 필름은 화학적 안정성을 기초로 하여 우수한 내열성은 물론 낮은 열팽창율을 갖는다. 휴대폰 내부에 사용되는 연성 기판 회로인 PCB, FPC 등에 적용된다.

이러한 특성 때문에 폴리이미드는 레이저 가공의 재료로 적합하다. 그림 1은 폴리이미드 가공에 사용된 레이저 미세 가공 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 레이저에서 나온 빔은 반사 거울을 지나서 5배의 빔 확장기(beam expander)에 입사되며 확장된 빔은 다시 반사 거울을 거쳐 집광 렌즈가 장착된 스캐너(scanner)에 입사되어 빔이 시료 표면에 조사된다. 이 때 스캐너를 이용하여 x-y 방향으로 빔을 조절하여 레이저 미세 가공을 하게 된다. 스캐너는 스캔랩(Scanlab)사의 스캔진(ScanJin)을 사용하였으며, 집광렌즈의 초점거리가 100mm인 텔레센트릭 렌즈(telecentric lens)를 사용하여 가능한 가장 작은 초점을 얻기 위하여 레이저 빔의 직경과 렌즈 초점거리를 최적화시키고 이를 통하여 빔 스팟 사이즈(beam spot size)를 25 $\mu$ m로 만들어 가공하였다. 사용된 레이저는 EKSPLA사의 NL15100 펄스 레이저로 파장은 Nd:YAG 레이저의 3차 조화파(3rd harmonics)로서 355nm이며 최대 0.8W의 출력의 특성을 나타낸다.

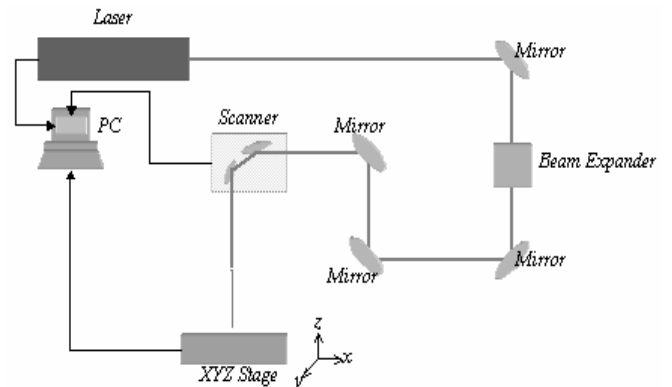


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

### 3. 결과 및 토의

앞에서 기술한 레이저 미세 가공 장치는 폴리이미드 필름에 레이저 스크라이빙을 하기 위한 모든 요구사항들을 충족시킨다. 각각의 장치를 통과하여 나온 빔은 필름 표면에 조사되어 필름을 가공하게 된다.

그림 2는 UV 레이저 스크라이빙의 포토어블레이션을 나타낸 것이다. 우선 집속된 빔으로 샘플을 가공하기 위하여 클리닝을 마친 샘플을 준비하였다. 가공 속도를 조절하고 펄스 반복 속도를 변화시키면서 레이저 스크라이빙 공

정을 수행하였다. 이 때 필름 재료 표면 상에 레이저 빔이 조사되면 필름 표면의 온도가 증가되며 에너지가 충분히 크면 재료의 용융 및 증발되어 형태가 변하게 된다. 가공 과정 중에 증발이 일어나고 에너지는 열평형 상태가 된다.

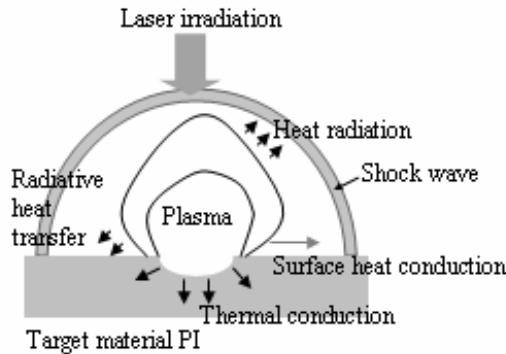


Fig. 2 Diagram of scribing process by pulsed UV laser

그림 3 은 스크라이빙 공정을 수행한 후 광학 현미경을 통하여 비교한 형상을 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 경우, 빠른 가공 속도는 중첩율을 떨어뜨리기 때문에 열적인 손상 없이 스크라이빙의 품질이 깨끗하게 가공하기 위하여 펄스반복율을 높이는 방법을 사용하였다.

그림 3(b)와 3(c)의 경우는 열적인 손상 조건을 고려하기 위하여 펄스 중첩율과 스캔 속도가 폴리이미드를 가공할 때 발생하는 손상에 미치는 영향을 확인하였다. 그림 3(d)의 경우, 3(a), (b)와는 다르게 스캔 속도가 느리므로 에너지가 과잉 되어 재료에 변형을 일으킨 것이라고 판단된다. 그러나 이러한 조건은 에너지가 높으므로 금속을 가공할 경우 유용하게 적용할 수 있다.

폴리이미드 필름에 대한 스크라이빙 공정은 0.1 mm 의 필름에 수백 마이크로미터의 두께와 약 5~22  $\mu\text{m}$  의 폭으로 행해져서 라인을 형성하게 된다. 이를 위한 UV 레이저의 적용은 그림 3(a)에서와 같이 고품질 고속의 펄스 반복율과 스캔 속도를 얻을 수 있게 된다.<sup>3</sup>

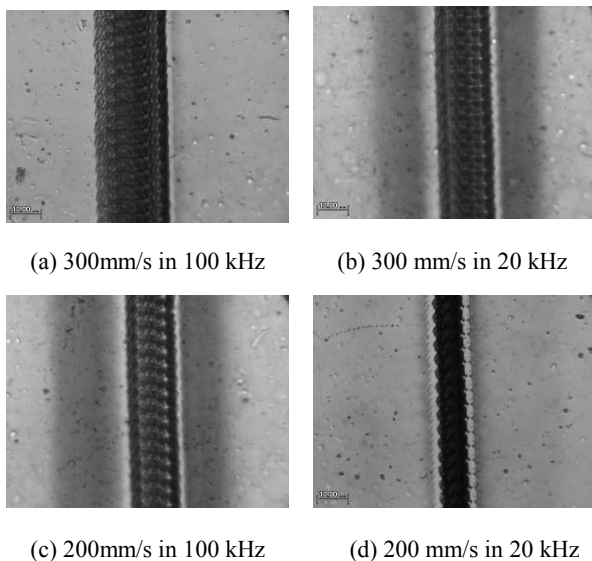


Fig. 3 Polyimide specimen laser scribing, (a) 300mm/s in 100 kHz (b) 300 mm/s in 20 kHz (c) 200 mm/s in 100 kHz (d) 200 mm/s in 20 kHz

그림 4 는 펄스 반복 속도에 대한 스크라이빙 폭을 나타낸 것이다. 펄스 반복 속도가 증가할수록 스크라이빙 폭은 감소한다. 같은 펄스 반복 속도일 경우 스캔 속도가 빠를수록 스크라이빙 폭이 더 크게 나타난다. 빔 사이즈와 비교하여 보면, 300mm/s 와 200mm/s 의 경우 모두 빔 스팟 사이즈보다 작게 나타난다.

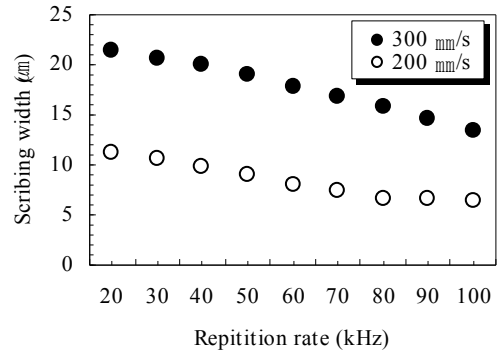


Fig. 4 Scribing characteristics on the irradiated area as a function of pulse repetition rate

#### 4. 결론

UV 레이저를 이용한 스크라이빙은 필름의 종류에 관계 없이 다양하게 가공이 이루어질 수 있어 장비를 다양화하지 않아도 되기 때문에 경제적이고, 레이저를 이용한 비접촉식 가공이므로 소형화, 정밀화가 가능하다. 또한 레이저 가공 방법을 사용하면 별도의 공정이 필요하지 않게 된다. 폴리이미드 필름에 가공 시 가공 속도가 빠르면 중첩율이 떨어지므로 300mm/s 의 속도, 100 kHz 의 조건으로 가공하였고, 펄스반복속도와 빔 스팟 사이즈가 일정할 때 가공속도가 빨라지면 중첩율은 점점 감소한다. 여기에서 펄스 반복속도나 스캔 속도에 상관없이 스크라이빙 폭은 빔 스팟 사이즈보다 작게 나타남을 확인하였다.

향후 금속이나 웨이퍼에 레이저 스크라이빙 조건을 활용하여 가공정밀도가 향상된 스크라이빙 가공 형상을 얻을 수 있으리라 생각된다.

#### 후기

This work was performed by the Small and Medium Business Administration. And the authors would like to thank SMBA.

#### 참고문헌

1. M.H.Seo, K.Y.Park, J.C.Lee, "Ultraviolet laser grooving process for LiNbO<sub>3</sub> waveguide," KSPE, 08S188, 379-380, 2008
2. B.Y.Paik, K.S.Lee, "A preliminary study of metal micro machining by using pulse laser," KSLP, 128-133, 2008.
3. Y.Iwai, T.Arai, T.Honda, R.Tanaka, T.Takaoka, "Effect of pulse duration in scribing of ceramics and Si wafer with ultra-short pulsed laser," SPIE, **5063**, 362-366, 2003.