

레이저를 이용한 3차원 형상가공에 관한 연구

Laser application in 3-D micromachining

윤경구, 이성국, 김재구, 제태진, 황경현, (한국기계연구원 자동화연구부)
K.K.Yoon, S.K.Lee, J.G.Kim, T.J.Je, K.H.Whang (KIMM)

ABSTRACT

This paper presents the feasibility of laser ablation process in 3-D micro machining of MEMS(Micro Electro Mechanical System) parts. The micro machining characteristics of polymer(Energy fluence, pulse repetition rate, number of pulse, ablation rate) are investigated and 3-D micro machined samples are demonstrated.

Key Words : laser ablation(레이저 어블레이션), polymer(폴리머), 3-D micromachining(3차원 미세가공), laser ablation parameter(레이저 어블레이션 가공변수), excimer laser(엑사이머 레이저)

1. 서 론

엑사이머 레이저는 Ar, Kr, Xe 등의 희귀가스와 F, Cl과 같은 할로젠족 가스를 혼합하여 방전여기에 의해 발전되는 157~350nm 파장대에 자외선 레이저이다. UV 레이저를 이용하면 종래의 기계 가공 공정으로 실현할 수 없는 극소형 및 초정밀의 기계구조, 센서 또는 액츄에이터를 비접촉식으로 할 수 있고 가공시 열손상이 거의 없다. 최근 제품의 소형화 및 박막화 추세에 따른 미세가공 기술의 급속한 발전을 살펴보면, UV 레이저를 이용한 실리콘 표면의 도핑(doping)에 관한 연구[1], 알루미늄 기판에 UV 레이저를 이용한 LAD (Laser-assisted deposition) 패키징 기술에 관한 연구[2], 미소전자 패키징에 레이저를 이용하는 방법[3]뿐만 아니라, 레이저 유도에 의한 금속과 혼합물의 물질전달 현상을 활용한 마이크로 패터닝에 관한 연구도 진행되고 있다.[4] 본 연구에서는 여러 가지 응용분야중 레이저 어블레이션을 이용한 3-D 가공에 관해서 설명하고자 한다.

1.1 레이저 어블레이션

레이저 어블레이션은 전자적 여기, 결합파괴, 가열에 의한 화학적 분해, 제거, 증발등의 여러 가지 프레세스가 복합적으로 작용하여 일어난다. 이 경우 가공대상물의 주변 분위기 가스는 가공프로세스에 큰 영향을 주지 않으므로 응용목적에 따라 진공중, 대기중 또는 특별히 제어된 분위기 가스를 사용하기도 한다.

그리고 어블레이션 가공을 위해서는 High peak intensity 레이저가 필요하며, 따라서 펄스길이가 아주 짧은 레이저가 사용된다. 일반적으로 펄스길이는 Nanosecond 범위가 사용되며, 경우에 따라서는 Picosecond 또는 Sub-Picosecond 범위의 펄스 레이저를 사용하기도 한다. 펄스 길이가 짧을수록 가공된 단면의 품질이 우수하다. 어블레이션 가공을 하면 원자, 분자 또는 가공물의 파편등이 생성되며 이러한 부산물의 종류와 분포는 어블레이션 메카니즘과 레이저의 에너지 세기에 따라서 결정된다. 그리고, 가공물로 부터 분리되는 부산물은 부분적으로

활성화되거나 이온화되어 가공표면으로부터 팽창하는 플라즈마를 형성하며, 어블레이션 공정중 화학반응에 의해 가공물의 성질을 변경시키고자 할 때는 분위기 가스를 활용하기도 한다.

가공 대상물은 금속, 반도체, 폴리머, 유리, 세라믹, 염료, 전기·광학 소재, 생체조직, 고온초전도체, 다이아몬드 또는 Diamond-like carbon 등과 같이 대부분의 재료가 가공가능하며, 응용분야는 마이크로electronics, 광학, 초전도체 박막, 생물학, 의료분야 및 공업적인 절단, 마킹, 드릴링 등과 같이 다양하다

2. 폴리머 어블레이션 및 미세 구조물 가공

폴리머를 구성하는 유기분자와 레이저의 광자사이의 반응은 금속이나 무기화합물의 경우와는 다른 방식으로 이루어진다. 유기분자에 적외선(IR) 레이저의 광자가 흡수되면 회전 및 진동여기가 일어나면서 최종적으로 열적 분해에 의해 재료가 제거되는데 반해서 자외선(UV) 레이저의 광자가 흡수되면 상위의 전자상태(electronic state)로의 다광자 여기가 일어나면서 이온화와 분해가 이루어진다. 가시 또는 적외선 레이저 펄스와 자외선 레이저 펄스를 구별할 수 있는 이와 같은 현상의 가장 두드러진 특징은 펄스수와 레이저의 에너지 밀도(fluence)의 조절에 의해 제거의 깊이를 정확하게 제어할 수 있다는 것과 재료에는 어떠한 열적 손상도 일어나지 않는다는 점이다. 폴리머의 표면과 레이저 펄스의 상호작용은 레이저 펄스 조사후 약 $30\mu s$ 이내에 이루어진다.

2.1 Laser ablation 실험장치의 구성

레이저 어블레이션 실험장치에 사용된 주요 장비는 엑사이어 레이저 발진기, 광학계, 무진동 테이블, 레이저 펄스 에너지 측정기, 초정밀 X,Y,Z, θ 테이블, CCD 카메라 장치 등이고, 이들의 구성방법은 다음 Fig. 1과 같다.

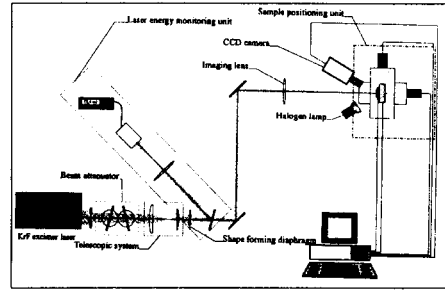


Fig. 1 Experimental setup scheme

2.2. 실험결과

Fig. 2는 펄스수와 제거깊이의 관계를 보기 위하여 펄스수를 1에서 부터 100까지 증가시키면서 각각의 조건에서의 제거깊이를 측정 한 결과를 보여주는 것으로 제거깊이는 펄스수에 비례하여 거의 선형적으로 증가함을 보이므로 제거깊이는 펄스 에너지를 고정하고 펄스수의 제어에 의해서 충분히 조절이 가능하다.

Fig. 3은 시편에 조사되는 펄스의 에너지밀도를 40에서 부터 400mJ/cm²까지 증가시키면서 제거율을 측정 한 결과로 낮은 에너지밀도에서는 거의 선형적인 증가를 보이나 에너지밀도가 증가할수록 제거율의 증가가 점차 감소됨을 보여준다. 이와 같은 결과는 엑사이어 레이저에 의한 폴리머의 ablation에서 공통적으로 나타나는 현상으로 레이저 광자의 침투 깊이가 재료에 따라서 차이는 있지만 재료내부의 일정깊이로 한정되기 때문일 것으로 해석된다.

Fig. 4는 레이저의 펄스반복률이 제거율에 미치는 영향, 즉, 바로 전에 조사한 펄스에 의해서 생성되는 플라즈마나 제거 추출물에 의해서 입사되는 빛의 차단효과를 평가하기 위하여 펄스반복률을 1Hz에서 200Hz까지 변화시키면서 각각의 조건에서 10개의 펄스를 조사한 후 제거깊이를 측정 한 결과로서 펄스반복률의 변화에 영향을 받지 않음을 보여준다. 이와 같은 결과는 레이저의 조사후 극히 짧은 시간, 즉 펄스와 펄스 사이의 시간(200Hz의 경우 5msec)보다도 훨씬 짧은 시간내에 ablation이 완료되기 때

문에 플라즈마 제거추출물에 의한 빔의 차단이 일어나지 않는다는 것으로 해석할 수 있다.

2.3 3차원 미세 구조물 가공

폴리머의 가공특성을 이용하여 마이크로머신에 사용될 수 있는 3차원 미세구조물을 제작할 수 있는데 이는 레이저 빔을 시편에 조사하는 동안 MASK를 이동시키면 레이저빔과 시편의 Interaction time이 변해서 가공되는 깊이가 MASK 이동속도에 따라 변해서 가공되는 깊이가 MASK 이동속도에 따라 결정됨으로 해서 가능하다. MASK를 고정시키고 레이저 빔을 조사하면 2차원 형상이 되지만 레이저 빔의 집광현상을 이용하면 테이퍼 형상의 가공이 가능하다. 이렇게 형성된 부분에 전해 또는 무전해 도금방법을 이용하여 몰드를 제작한 다음 이를 이용하여 미소 3차원 구조물을 제작할 수 있는 것이며 그 예는 다음 Fig. 5,6,7과 같다.

Fig. 5,6에서 가공 에너지는 350mJ, 펄스 반복률은 10Hz, 마스크 이동 속도는 0.1mm/sec이고, Fig. 7에서 가공 방법은 마스크를 일정량 이동시킨 후 레이저빔을 조사하고, 다시 마스크를 일정량 이동시킨 후 레이저빔을 조사하는 방법이 되풀이 함으로써 계단식 가공이 가능하게 된다.

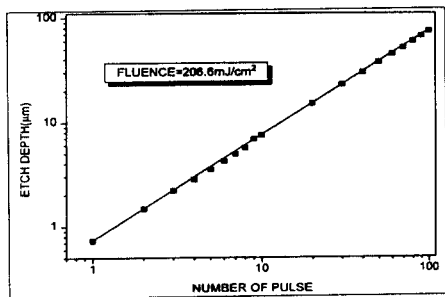


Fig. 2 Plot of etch depth versus numbers of pulses

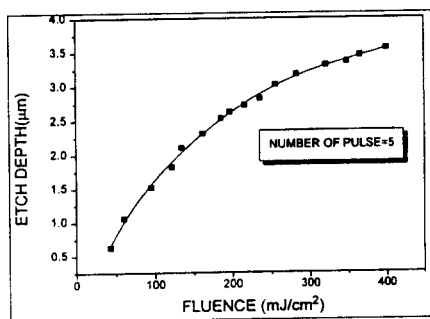


Fig. 3 Plot of etch depth versus fluence

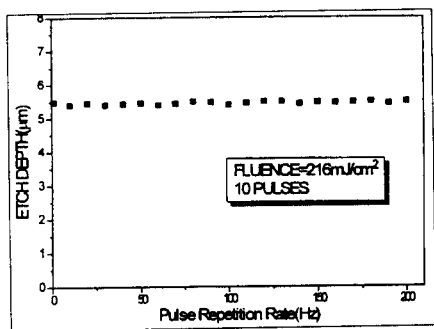


Fig. 4 Plot of etch depth versus pulse repetition rate

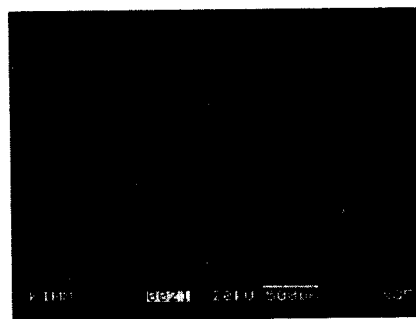


Fig. 5 3-D Pointed Inclined Surface

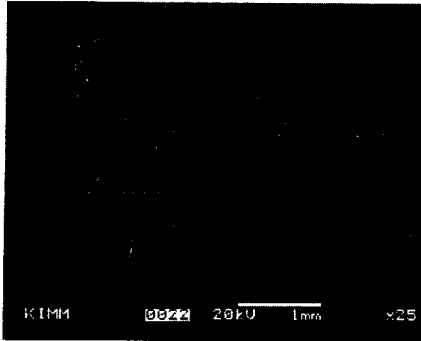


Fig. 6 Inclined Groove

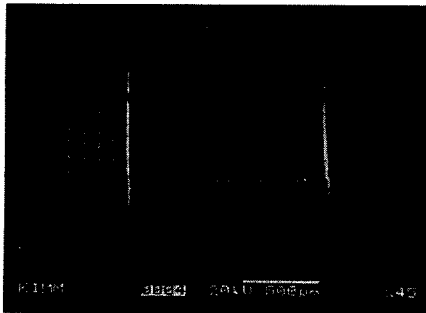


Fig. 7 3-D Step Machining

3. 결 론

엑사이머 레이저를 이용하여 미세가공 기술에 관한 응용분야로서 레이저 어블레이션 공정을 이용하여 미소 3차원 구조물을 제조하는 방법을 제시하였고 그 가능성을 입증하였다.

참고문헌

1. Richard M Osgood, "Laser-fabrication for solid-state electronics", IEEE circuits devices MAG vol.6 NO5 PP25~31, 1990

2. A Bauer, J.Ganz, K.Hesse and E.Kohler, "Laser-assisted deposition for electronic packaging applications", Applied Surface Science Vol.46, PP113-120, 1990
3. Robert F. Miracky, "Laser advance into microelectronic packaging", Laser Focus, Vol.27, NO.5, PP85-98, 1991
4. Zolt Toth, Zoltan Kantor, Peter Mogyorosi and Tamas Szorenyi, "Surface patterning by pulsed laser induced transfer of metals and compounds", SPIE Vol.1279, PP150-157, 1990